

**Ein mehrphasiges Stichprobensystem für forstliche
Großrauminventuren, gestützt auf Landsat MSS Daten,
Luftbilder 1 : 50 000 und ergänzende
terrestrische Messungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.

vorgelegt von
Jürgen Schade
aus Altenburg/Thüringen

1980

**Ein mehrphasiges Stichprobensystem für forstliche
Großrauminventuren, gestützt auf Landsat MSS Daten,
Luftbilder 1 : 50 000 und ergänzende
terrestrische Messungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg i. Br.



vorgelegt von
Jürgen Schade
aus Altenburg/Thüringen

1980

Dekan:	Prof. Dr. R. Grammel
Leiter der Arbeit:	Prof. Dr. G. Hildebrandt
Referent:	Prof. Dr. G. Hildebrandt
Koreferent:	Prof. Dr. D.R. Pelz

Tag der Verkündigung des Prüfungsergebnisses: 27.10.1980



EIN MEHRPHASIGES STICHPROBENSYSTEM FÜR FORSTLICHE GROSSRAUM-
INVENTUREN, GESTÜTZT AUF LANDSAT MSS DATEN, LUFTBILDER 1 : 50 000
UND ERGÄNZENDE TERRESTRISCHE MESSUNGEN

	Seite
VORWORT	
0. ÜBERBLICK	1
1. GRÜNDE UND AUFGABEN FÜR EINE FORSTLICHE GROSSRAUM- INVENTUR IN MITTELEUROPA	2
1.1 Situation der Forsteinrichtung und die Frage einer zusätzlichen Waldinventur	2
1.2 Methodische und technische Anforderungen an eine forstliche Großrauminventur	5
2. SYSTEMATIK DER BESTEHENDEN INVENTURMETHODEN	8
2.1 Regionale oder nationale Verdichtung von Betriebsdaten	8
2.2 Systematische terrestrische Stichproben	9
2.3 Mehrstufige Stichprobenmethoden	10
2.4 Mehrphasige Stichproben unter Einbeziehung von Fernerkundungsaufzeichnungen und Bo- denmessungen	11
2.5 Zustandserfassung ausschließlich durch Fernerkundungsaufzeichnungen und visueller Kontrolle aus der Luft	12
3. GEWÄHLTES INVENTURDESIGN	14
3.1 Vorbereitende Überlegungen	14
3.2 3-phasige Stichprobe	16
3.3 2-phasige Stichprobe	20
3.4 Entscheidungsgründe für das gewählte Stich- probensystem	21
4. TESTGEBIET UND VERWENDETES MATERIAL	23
4.1 Lage und Waldstruktur des Testgebietes	23
4.2 Verwendetes Landsat-, Luftbild- und Karten- material	26
5. DURCHFÜHRUNG DER INVENTUR	28

	Seite
5.1 Analoge Verarbeitung der Landsat-Daten	28
5.1.1 Vorarbeiten und kurze Gerätebeschreibung	28
5.1.2 Klassifizierung und Auswahl der Sekun- därstichproben	32
5.2 Auswerten der Luftbilder 1 : 50 000	35
5.2.1 Orthogonales Punkteraster	35
5.2.2 Interpretation der Stichprobenpunkte	38
5.3 Interpretation topographischer und thema- tischer Karten	45
5.4 Terrestrische Messungen	47
6. ELEKTRONISCHE DATENVERARBEITUNG UND ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN DEN VARIABLEN	57
7. INVENTURERGESNISSE DER 2- UND 3-PHASIGEN VERFAHREN	71
7.1 2-phasiges Design	71
7.1.1 Stehender Vorrat Fichte	71
7.1.2 Stehender Vorrat Tanne	76
7.1.3 Stehender Vorrat sonstige Nadelhölzer	76
7.1.4 Stehender Vorrat Laubholz	77
7.1.5 Stehender Vorrat Laubholz, differenziert nach Buche und sonstigen Laubhölzern	78
7.1.6 Laufender Zuwachs Fichte	80
7.1.7 Gesamtwuchsleistung der Fichte	80
7.1.8 Altersstruktur bei den verschiedenen Wald- besitzarten	83
7.1.9 Vorratsstruktur und laufender Zuwachs bei den einzelnen Waldbesitzarten	84
7.1.10 Aufgliederung der Gesamtvorräte auf Holzar- ten und Altersklassen	87
7.1.11 Aufgliederung des Fichtenvorrats in einzelne Sortimente	90
7.1.12 Staffe lung der Vorräte nach Ruckeentfernung und Hangneigung	91
7.1.13 Spezielle Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes	93
7.1.14 Erfassung von Waldschäden, dargestellt am Beispiel des Schälachadens durch Rotwild	95
7.1.15 Charakterisierung des Pflegezustandes, dar-	

	Seite
gestellt am Vergleich der tatsächlichen Stammzahl und der Zielbaumzahl der Durch- forstungshilfe A (FVA Baden-Württemberg)	96
7.2 3-phasiges Design, Vorrats- und Zuwachs- werte für den Gesamtraum	98
7.3 Gegenüberstellung der Ergebnisse der 3-Phasen-Inventur und der entsprechenden Forsteinrichtungs-Daten	104
8. AUFWAND UND KOSTEN DER INVENTUR	109
9. ZUSAMMENFASSUNG UND ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNGEN	113
10. LITERATURANGABEN	119
11. ANHANG	130

VORWORT

Während meiner Studienzeit an der Forstlichen Fakultät der Universität Freiburg wurde ein lebhaftes Interesse geweckt für die Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung für forstliche Fragestellungen.

Herr Prof. Dr. G. Hildebrandt ermöglichte mir freundlicherweise, an seiner Abteilung Luftbildmessung und -interpretation eine Diplomarbeit anzufertigen über die Klassifizierung von Waldbeständen durch Texturparameter. Die dadurch gewonnenen Einblicke in die Möglichkeiten der Fernerkundung und die immer wichtiger werdende Überwachung der Wälder der Erde veranlaßten mich, nach dem Diplom eine entsprechende Dissertation zu beginnen.

Herrn Prof. Hildebrandt möchte ich ganz herzlich danken für viele Anregungen, Hinweise und Gespräche während der Arbeit. Vor allem sein verständnisvolles menschliches Wesen und die liberale Atmosphäre an der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation ermöglichten eine angenehme Zusammenarbeit mit viel Freiheit für eigene Ideen.

Herrn Prof. Pelz danke ich für seine freundliche Beratung und konstruktive Kritik in statistischen Fragen. Von ihm bekam ich einige wertvolle Ratschläge zur Entwicklung des statistischen Designs.

Auch Prof. Poso aus Helsinki hat mir viel geholfen bei der Konzipierung des Stichprobensystems. Während seiner Zeit als Humboldt-Stipendiat in Freiburg erklärte er mir in zahlreichen Gesprächen die grundlegenden Ideen der von ihm entwickelten "grouping method".

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Kölbl von der EPF Lausanne, der mich geduldig und verständnisvoll in seine EDV-gestützte Methode der Übertragung eines orthogonalen Punkterasters auf Luftbilder einführte und der es ermöglichte, die Rasterfolien an der EPF Lausanne herzustellen.

Herrn Forstrat Fischer von der Forstdirektion Freiburg möchte ich danken für zahlreiche Hinweise und aus langjähriger Praxis

kommende Gedankenanstöße sowie für die Einsicht in die Forsteinrichtungsunterlagen.

Außerdem möchte ich mich bei den Amtsvorständen und Revierbeamten der Forstbezirke, in denen terrestrische Messungen durchgeführt wurden, sehr herzlich für ihr Verständnis und ihre Unterstützung bedanken. Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn FD Zeiher (St. Blasien), Herrn OFR Zutt (Schluchsee), Herrn OFR Dr. Klein (St. Märgen) und Herrn OFR Hanning (Todtnau).

Meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Frau Dipl. Forstwirtin Antje Fischer, Frau Liane Werner, Herrn Klaus Lomnitz und Herrn Dr. Said Alim Masumy danke ich vielmals für ihre tatkräftige Mithilfe bei den terrestrischen Messungen. Das Aufsuchen und Vermessen der Stichprobenpunkte bei Wind und Wetter in den oft recht steilen Hängen des Schwarzwaldes war nicht immer leicht.

Herrn Bob Fitch danke ich für Tips und Hilfen bei der elektronischen Datenverarbeitung, Frau Ros für das sorgfältige Tippen der Arbeit.

Außerdem freue ich mich über die gute Zusammenarbeit mit meinen Kollegen von der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation und über viele konstruktive fachliche und private Gespräche mit ihnen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei Dank für ihre finanzielle Unterstützung, mit der ein großer Teil der Untersuchungen durchgeführt werden konnte.

0. ÜBERBLICK

Die vorliegende Arbeit sollte einen Beitrag dazu leisten, für forstliche Großrauminventuren in Mitteleuropa ein operationelles System zu finden.

Als Grundlage für die Lösung anstehender Inventurprobleme erwies sich ein mehrphasiges Stichprobensystem als flexible, exakte und kostengünstige Methode. Dabei nutzte man weitgehend die Möglichkeiten der Fernerkundung wie Infrarot-Farbluftbilder und multispektrale Landsat-Aufzeichnungen. Am Beispiel von 7 Forstamtsbezirken im Südschwarzwald wurde aufgezeigt, welche Informationen die vorgeschlagene Mehrphasen-Stichprobentechnik liefern kann und wie hoch der nötige Aufwand ist.

Für die Auswahl der Inventur-Kriterien wurden für deutsche und auch andere forstliche Verhältnisse in Mitteleuropa relevante Fragestellungen zu Grunde gelegt. Unter anderem ermittelte man: Baumartenverteilung, Holzvorräte aufgegliedert nach Waldbesitz, Baumarten, Sortimenten, Rückeentfernung; beispielhaft an Fichte die tatsächliche Gesamtwuchsleistung und den laufenden Zuwachs.

Bei einem terrestrischen Meßaufwand von nur 320 Stichproben auf 53.000 ha Waldfläche entsprechend 40 Arbeitstagen eines 2-Mann Meßtrupps ließen sich die Vorräte der Hauptbaumarten mit einer Standardabweichung von 2 bis 5 % bei 95 % Sicherheit berechnen.

Bei Vergleichen mit entsprechenden Angaben der Forsteinrichtung lagen die Daten über flächen- und vorratsmäßige Waldstruktur und tatsächliche Gesamtwuchsleistung in ähnlichen Größenordnungen. Teilweise ergaben sich aber auch erhebliche Abweichungen. So lagen die Vorratswerte der Inventur für Nadelhölzer um etwa 30 % und die der Laubhölzer um etwa 40 % über den Schätzungen der Forsteinrichtung.

1. GRÜNDE UND AUFGABEN FÜR EINE FORSTLICHE GROSSRAUMINVENTUR IN MITTELEUROPA

"Forstliche Großrauminventuren dienen vor allem forstpolitischen Zwecken, sei es, daß durch sie Unterlagen für die großräumige Planung forstlicher Maßnahmen oder der Landesplanung gewonnen werden sollen, sei es, daß sie Kenntnisse über Produktionsverhältnisse und -möglichkeiten der Wälder, über Struktur und Potential der Holzvorräte des betreffenden Gebietes und durch Wiederholung der Inventur auch über die Veränderung des Zustands liefern sollen" (Hildebrandt 1964).

Und Zöhrer (1978) meint, nur eine Großrauminventur niedriger Intensitätsstufe, welche sich auf gut fundierte Stichprobenmethoden stützt, kann einen umfassenden, präzisen Überblick über die Forstresourcen eines Landes geben.

1.1 SITUATION DER FORSTEINRICHTUNG UND DIE FRAGE EINER ZUSÄTZLICHEN GROSSRAUMINVENTUR

Erfahrene Forsteinrichter werfen immer wieder ein (Henne 1978, Petri 1978), durch weiterentwickelte, EDV-gestützte, standardisierte Forsteinrichtungsverfahren seien einzelne Länder durchaus in der Lage, an Stelle von kostenaufwendigen neuen Erhebungen direkt mobilisierbare Inventurdaten und Vorausschätzungen des Holzangebotes auf der Basis moderner Forsteinrichtungsverfahren mit einer für die Zielsetzung ausreichend erscheinenden Genauigkeit bereit zustellen. Aber Henne (1978) zeigt auch gleichzeitig die damit verbundene Problematik auf:

- Betriebsinventuren entstehen durch Zusammenfassen von heterogenem Datenmaterial (z.B. bei der Holzvorratsaufnahme Ertragstafelschätzungen in Jungbeständen, Stichproben in mittelalten, Vollkluppung in alten Beständen), eine Koordination der primärstatistischen Unterlagen ist auf Grund der verschiedenen Aufnahmeverfahren und des subjektiven Spielraums der verschiedenen Einrichter schwierig.

- Die Stichtage der Betriebsinventuren können bei lässiger Handhabung der Forsteinrichtung weit auseinander liegen, auch bei korrekter Durchführung entstehen Differenzen bis zu 10 Jahren, nicht gerechnet die Zeit zum Auswerten, Überprüfen und Veröffentlichen der Daten.
- Fehlerrechnungen sind nicht möglich, die erreichte Genauigkeit kann daher nicht beziffert werden.
- Bei Betriebsinventuren muß - abgestuft nach Besitzarten- mit systemimmanenten einseitigen Fehlern gerechnet werden.

Außerdem werden bei der Forsteinrichtung keine Merkmale erfaßt, die den qualitativen Waldzustand, Schäden, Holzwerbungs-, Brinnungs- und Transportverhältnisse charakterisieren oder es werden unterschiedliche Merkmale nach unterschiedlichen Kriterien aufgenommen.

Eine Summierung von Einrichtungsdaten setzt überdies voraus, daß für alle Waldflächen bzw. Forstbetriebe Einrichtungswerke vorhanden sind. Stahl-Streit (1965) stellte im Zusammenhang mit einer Analyse der Forsterhebung der Bundesrepublik 1960 dazu fest, daß in der Bundesrepublik 80 % des Kleinprivatwaldes, d.h. 29 % der gesamten Waldfläche, ohne Forsteinrichtungswerke sind. Aber auch dort, wo Forsteinrichtungsdaten vorliegen, sind sie aus der Sicht einer Großrauminventur mit den oben erwähnten Mängeln behaftet. So ermittelte Sieder (1978) z.B. für Baden-Württemberg, daß die Vorratsdaten der Forsteinrichtung nur zu 25 - 30 % auf eigentlichen Messungen (Vollklappung, Repräsentativaufnahme) basieren. Je nach Besitzart stützen sich 16 - 20 % auf Fortschreibungen und 53 - 72 % nur auf Schätzungen.

Deshalb stellte schon Rebel 1927 in einer Studie über die Reformbedürftigkeit unserer Forsteinrichtung fest: "Das bayrische Einrichtungsverfahren vermittelt nun, altersstufenweise errechnet, die Kenntnis von Vorrat und Zuwachs. Aber das ist eben eine mit den Fehlern der Holzartenanteils-, Bonitäts- und Bestockungs-schätzung behaftete summarische Berechnung, keine durch Messung gewonnene Erhebung". Und sind nun diese zum großen Teil auf Schätzungen beruhende Daten erst einmal veröffentlicht und wie z.B. die Waldfläche des Deutschen Reiches bei der Erhebung 1937

mit 10.935.340,59 ha auf 1/100 ha genau angegeben, wobei der Fehler bei einigen 100 000 ha liegen dürfte, werden sie leicht als bare Münze akzeptiert und man ist geneigt ihre Mängel zu ignorieren.

Auf großräumige, statistisch fundierte Waldinventuren, die den Forstverwaltungen auf Direktions-, Landes- und Bundesebene einheitlich erhobene, reproduzierbare, tendenzfreie Daten zur Verfügung stellen, kann also auch in der Bundesrepublik nicht verzichtet werden. Auch in der DDR wird trotz praktisch flächen-deckender Forsteinrichtung noch zusätzlich eine permanente Großrauminventur durchgeführt, obwohl bei einem Staatswaldanteil von fast 100 % jedes Jahr landesweit bereits verdichtete Informationen aus Forsteinrichtungsdaten vorliegen (Grossmann, Wolff, Wünsche 1963; Ulbricht 1978).

Im übrigen belegen auch die in Deutschland kurz nach der Reichsgründung 1878 eingeführten, seitdem in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen wiederholten Forsterhebungen (die letzte war 1960) das Bedürfnis nach landesweiten Informationen über die Waldstruktur und die forstlichen Produktionsverhältnisse. Von den dabei benutzten Fragebögen an die Waldbesitzer müßte man inzwischen natürlich zu statistisch fundierten Verfahren übergehen. Die länderweisen Inventuren in Bayern (Franz 1973, Deckelmann 1973, Kennel 1973) und in Hessen (Weimann 1975) waren ein bedeutender Schritt in diese Richtung. In letzter Zeit ist auch eine bundesweite Großrauminventur in Vorbereitung.

Fast ebensolange Tradition wie die Forsterhebung in Deutschland besitzt die Reichswaldtaxation in den skandinavischen Ländern. Im Gegensatz zu Deutschland ist allerdings in Finnland, Schweden und Norwegen schon kurz nach dem 1. Weltkrieg eine landesweite Repräsentativaufnahme mit geschlossenem Inventursystem eingeführt und seitdem ständig methodisch verbessert worden (Ilvessalo 1927, 1931, 1943, 1956, 1963; Kuusela 1978; Hagberg 1957; Matern 1947, 1960, 1961; Näslund 1957; Langsæter 1949). Den skandinavischen Ländern gebührt der Verdienst, als erste die Notwendigkeit einer statistisch einwandfreien permanenten Überwachung der Wälder zu ihrem Schutz und zur optimalen Nutzung erkannt zu haben.

Aber auch in den anderen europäischen Ländern wie Spanien (Martinez 1973), Frankreich (Brenac 1978), Belgien (Rondeux 1978), den Niederlanden (Jansen 1978), Österreich (Braun 1957, 1961a, 1961b, 1969, 1975; Haszprunar 1978), der Tschechoslowakei (Halaj 1978), Jugoslawien (Drinic, Cestar, Panić 1978; Prajić 1978), Polen (Smykala, Trampler 1978), Rumänien (Bumbu 1978) und Bulgarien (Kristanow, Beljalov 1978) werden forstliche Großrauminventuren teilweise schon seit langem durchgeführt. Auch in der Schweiz (Schmid-Haas 1978; Kölbl 1978) und in Italien (Fassi, Pleines 1978) suchte man in den letzten Jahren nach einer geeigneten Inventurmethode.

Nicht wegzudenken sind forstliche Großrauminventuren bei der Überwachung und Nutzung der ausgedehnten Waldgebiete Kanadas, der USA, Sowjetunion, Chinas und der Tropen.

Die Forsteinrichtung kann also eine repräsentative Großrauminventur nicht ersetzen, wie andererseits eine Großrauminventur auch keine Daten für die forstliche Betriebsplanung liefern kann. Gewisse Parallelen und Wechselbeziehungen sind natürlich vorhanden, wie auch Gries (1978) schreibt: "Von nicht zu unterschätzendem Wert sind bei der Forsteinrichtung von Einzelbetrieben Mittelwerte jenes Großbereiches, in dem der einzurichtende Betrieb liegt, und vor allem Trendberechnungen für diese Mittelwerte. Denn dadurch ist es möglich, den Entwicklungsstand eines Einzelbetriebes zu vergleichen und damit die vergangenen Vorschreibungen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen."

1.2 METHODISCHE UND TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN EINE FORSTLICHE GROSSRAUMINVENTUR

Unabhängig vom Land, den geographischen Gegebenheiten und der Zielsetzung im einzelnen sind an eine Waldinventur gewisse methodische Grundanforderungen zu stellen. Dabei müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Die Daten sind nach einem einheitlichen Verfahren und möglichst zum selben Zeitpunkt zu erheben. Sie müssen tendenz-

frei, vergleichbar und reproduzierbar sein.

- Die gewonnenen Informationen sollten sich für variable Befundeeinheiten zusammenstellen lassen. Auch für geographische oder ideelle Teilbereiche müssen Aussagen möglich sein.
- Es wird erwartet, daß Trends aufgezeigt, Entwicklungen prognostiziert und Simulationsmodelle aufgestellt werden können.
- Eine Angabe des Aufnahmefehlers muß möglich sein, das Inventursystem sollte sich wechselnden Genauigkeitsanforderungen bei der Aufnahme verschiedener Merkmale anpassen können.
- Es werden laufend aktuelle Informationen über Entwicklungen und Veränderungsdaten benötigt. Eine permanente Inventur im Sinne einer "Continuous Forest Inventory" (Stott, Semmens 1962; Leutsch, Haller 1964) mit bleibenden Stichprobenflächen wäre angebracht.
- Eine Waldinventur darf nicht einseitig als Holzvorratsinventur gesehen werden. Eine Erfassung aller Ressourcen, auch der Schutz- und Erholungsleistungen des Waldes, der Gewässer, Ödländer und der ökologischen Zusammenhänge im weiteren Sinn ist Aufgabe einer Inventur (Hildebrandt 1973; Lund 1978). Zur Vergleichbarkeit der Daten und zur Vermeidung von Doppelerhebungen sollten Inventuren verschiedener Verwaltungsstellen (z.B. Landesplanung, Landwirtschaft, Forstwirtschaft) koordiniert werden.

Neben methodischen Grundanforderungen soll eine Großrauminventur auch bestimmten inhaltlichen Zielsetzungen entsprechen:

- Aus den Aufnahmedaten müssen sich Informationen über die flächenhafte Struktur der Waldbestände herleiten lassen: über Besitzstruktur, Holzartenmischung, Altersaufbau, Pflegezustand und Sonderfunktion.
- Die Vorratsstruktur bezüglich Holzarten, Sortimenten, Altersklassen, Qualitätsmerkmalen und Waldbesitz sollte transparent werden.
- Es werden Einblicke in die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des Systems Wald erwartet, Zahlen über die tatsächliche

Wuchsleistung, den laufenden Zuwachs und den dGZ.

- Informationen über biotische (Insekten, Pilze) und abiotische Schäden (Sturmwurf, Immission, Waldbrand, Wasserhaushalt) sowie die Mortalität gehören ebenfalls zu den Ansprüchen an eine umfassende Waldinventur.
- Außerdem sollte die forstliche Infrastruktur erfaßt werden wie Wegenetz, mittlere Bringungs- und Transportdistanzen, Geländezustand und Werbungsaufwand. Eine Aufgliederung der Vorräte nach ihrer ökonomischen Zugänglichkeit ist anzustreben.

2. SYSTEMATIK DER BESTEHENDEN INVENTURFORMEN

Im Rahmen dieser Arbeit soll lediglich ein Abriß der verschiedenen Systeme für forstliche Großrauminventuren gegeben werden. Detailinformationen über Inventurziele, Merkmale, Statistik, Effektivität usw. finden sich unter anderem bei Wilson 1960; Hildebrandt 1962, 1964, 1973; Loetsch und Haller 1964; Loetsch, Zöhrer und Haller 1973 und Zöhrer 1977. Außerdem sei auf die Kongreßberichte der IUFRO-Arbeitsgruppen S4.02 Forest Resource Inventory, S4.04 Forest Management Planning and Managerial Economics (1976 und 1978), die Proceedings des ISP und IUFRO-Symposiums über Fernerkundung (1978) und die Fülle anderer Publikationen hingewiesen.

Auf Grund der Informationsgewinnung (vorhandene Forsteinrichtungsunterlagen, terrestrische Stichproben, Luftbildinterpretation) lassen sich in Anlehnung an Hildebrandt (1962) folgende Systeme unterscheiden:

2.1 REGIONALE ODER NATIONALE VERDICHTUNG VON BETRIEBSDATEN

Dieses Verfahren ist an sich nur für relativ kleine Räume mit möglichst flächendeckender, methodengleichen Einrichtungsinventuren befriedigend. In diesem Fall und bei EDV-orientierter Datenerfassung lassen sich die gewünschten Informationen ohne größere Zusatzkosten und mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit gewinnen (Henne 1978).

Anwendung fand und findet die Addition von Betriebsdaten vor allem in Mitteleuropa, so bei den Forsterhebungen im Deutschen Reich 1878, 1883, 1893, 1900, 1913, 1927 und 1937 (Stahl-Streit 1965), bei den Waldstandserhebungen in der Bundesrepublik 1949 und 1960, auf Landesebene mit optimiertem EDV-gestütztem Verfahren in Hessen (Henne 1978), in der DDR neben einer landesweiten systematischen Zusatzinventur (Ulbricht, Großmann 1978), bei der österreichischen Waldstandsaufnahme 1953/56 für Flächen mit Einrichtungswerken (Horky 1956, Braun 1957, Griess 1978), in der Tschechoslowakei (Nymburský 1978) und Rumänien (Bumbu e.a. 1978).

2.2 SYSTEMATISCHE TERRESTRISCHE STICHPROBEN

Die nötigen Daten werden regional oder landesweit durch meist geometrisch angeordnete Bodenstichproben oder Stichprobengruppen erhoben. Luftbilder haben höchstens orientierende Funktion. Anwendung findet diese Technik vor allem bei detaillierten Inventuren von Baumarten, Vorratsgliederung, Schaftqualität, Stammschäden, Standortmerkmalen usw. Tradition hat dieses Verfahren als Reichswaldtaxation vor allem in den skandinavischen Ländern Schweden (Hagberg 1967; Matern 1947, 1960, 1961; Näs-lund 1957), Finnland (Ilvessalo 1927, 1931, 1943, 1956, 1963; Kuusela 1978) und Norwegen (Langsaeter 1949). Aber auch in Österreich (Braun 1961b) und Bayern (Franz 1973) wurde es angewendet. Große Bedeutung kommt den systematischen terrestrischen Stichproben auch in Zukunft noch bei Exploitationsinventuren in den Tropen zu.

Im Gegensatz zur Addition von Forsteinrichtungsdaten läßt sich bei Stichprobenmethoden der Aufnahmefehler und die statistische Sicherheit des Ergebnisses berechnen. Bei genügender Stichprobendichte liefert dieses Verfahren praktisch beliebig detaillierte und genaue Informationen. Ein Nachteil ist allerdings, daß das Aufsuchen und Messen von tausenden von Probeflächen arbeitsintensiv und teuer ist. Heute werden deshalb mehr und mehr Kombinationen mit luftbildgestützten Verfahren gesucht.

Zur Arbeitserleichterung durch Verwenden des Luftbildes beim Taxieren von Waldflächen schreibt Stahl-Streit (1965): "Für die erste österreichische Waldstandsaufnahme (1955) war z.B. eine Gesamtbefliegung vorgesehen, konnte aber aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden, so daß nur für einen Teil Luftbilder zur Verfügung standen. Soweit diese vorhanden waren, wurden die Aufnahmearbeiten wesentlich erleichtert und einige schwierige Begehungen im Gebirge konnten vermieden werden. Die Tagesleistung eines Taxators stieg bei Verwendung des Luftbildes von ursprünglich 20 auf 60 bis maximal 100 ha am Tage."

2.3 MEHRSTUFIGE STICHPROBEMETHODEN

- a) Listenstichprobe nach vorhandenem Datenmaterial der Forsteinrichtung
- b) Stratifikation und Bestandesausscheidung auf Luftbildern, terrestrische Stichproben

zu a) Aus vorhandenen Forsteinrichtungsunterlagen wird die Fläche interessierender Straten (Baumarten, Altersklassen) entnommen. Die entsprechenden Vorräte je Hektar erhält man durch systematisch auf die Straten verteilte Stichproben. Hierbei kann man einmal nach dem pps-Auswahlverfahren vorgehen (pps = probability proportional to size, d.h. große Straten bekommen auch viele Stichproben) oder man berücksichtigt die Variabilität und Bedeutung eines Stratum und berechnet die Verteilung der Stichproben auf die Straten nach der Neyman'schen Formel (Neyman 1934). Als Beispiel einer Listenrepräsentativaufnahme sei hier die Inventur der Fichtenbestände im hessischen Staatswald genannt (Weinmann 1975). Methodische und statistische Details über Listenstichproben findet man bei Loetsch, Zöhrer und Haller (1973).

zu b) In vielen Fällen liegen jedoch keine oder nur unzureichende Flächeninformationen vor. Die Ausscheidung homogener Bestandesgruppen hinsichtlich Holzart, Alter, Schlußgrad usw. und die Flächenermittlung geschieht auf Luftbildern bzw. Orthophotokarten. Die Verteilung der terrestrischen Stichproben zur Ermittlung der ha-Werte kamproportional zur Stratengröße, wirtschaftlicher oder ökologischer Bedeutung oder Merkmalsvarianz erfolgen.

Durch Vorinformation über die Flächenausdehnung luftbildsichtbarer Merkmale läßt sich der terrestrische Meßaufwand und die Varianz wesentlich senken. Intensive Entwicklungsarbeit bei der Anwendung des Luftbildes für Holzvorratsinventuren und Untersuchungen über geeignete Luftbildparameter zur Stratifizierung von Waldbeständen hat Wolff (1960, 1962) dazu geleistet.

Mehrstufige Verfahren sind üblich bei Waldinventuren in einigen kanadischen Provinzen und in Staaten der USA (Hildebrandt 1962;

Cunia 1978; Smith 1978; Carroll 1978; Baljzak 1978), Japan (Konohira 1978), Nordirland (Kilpatrick, Savil 1978), Neuseeland (Whyte 1978), Nordfinnland (Poso 1972) und Australien (Carron, Wood 1978).

2.4 MEHRPHASIGE STICHPROBEN UNTER EINBEZIEHUNG VON FERNERKUNDUNGS-AUFZEICHNUNGEN UND BODENMESSUNGEN

Bei einer mehrstufigen Stichprobeninventur scheidet man auf der obersten Ebene primäre Inventureinheiten aus, die ihrerseits in sekundäre, diese wieder in tertiäre usw. unterteilt werden können. Jeweils einige nachfolgende Einheiten werden stichprobenhaft zur detaillierteren Beschreibung der übergeordneten Stufe herangezogen. Die Aufnahmeintensität und die Art der Stichprobenauswahl (zufällig, stratifiziert zufällig, systematisch, pps, ppp) kann dabei von Stufe zu Stufe variieren. Der Sinn dieses Verfahrens liegt darin, die detaillierten kostenintensiven Auswertearbeiten auf wenige Stichproben zu konzentrieren und die Fahrtkosten zwischen den terrestrischen Meßflächen gering zu halten.

Im Gegensatz dazu werden beim mehrphasigen Stichprobedesign während der ersten Inventurphase eine große Anzahl Stichproben einer oder mehrerer Hilfsvariablen aufgenommen (z.B. Kronenschluß, Stereohöhe und Stammzahl), die eine möglichst präzise Schätzung der Zielvariablen zulassen (z.B. Holzvorrat). Ein Teil der Primärstichproben wird ausgewählt und für exakte Messungen der Zielvariablen herangezogen (Nichols 1979). Dieses Verfahren hat den Vorteil, durch die wesentlich billigere Ermittlung von Hilfsvariablen und Berechnen von Regressionen den terrestrischen Meßaufwand für die Zielvariablen zu minimieren.

In der Praxis ist allerdings eine scharfe Trennung in mehrstufige und mehrphasige Systeme nicht immer möglich, sie sind auch miteinander kombinierbar.

Die Anzahl der Phasen wie auch der unter 2.3 genannten Stufen ist natürlich nicht auf 2 begrenzt. So kann man z.B. auf Satellitenaufzeichnungen die Waldfläche ausgeschiedener Bestände als

Hilfsvariable für ihren Holzvorrat bestimmen, auf Luftbildern für einige dieser Proben Stammzahl, Kronenschluß, Höhe und Altersklasse und schließlich an einzelnen terrestrischen Probenflächen den Holzvorrat.

Zweiphasige Stichprobemethoden mit Hilfe von Luftbildern werden z.B. bei Waldinventuren in USA (van Sickle 1978), Frankreich (Branac 1978), Spanien (Martinez 1978) angewendet. In den USA sind auch 3-phasige Verfahren (Langley 1969, 1976) mit zusätzlicher Interpretation von Satellitenaufzeichnungen geprüft und für geeignet befunden worden. Heller und Wear (1969) und Wert (1969) entwickelten mehrphasige Stichprobetechniken speziell zur Erfassung von Immissions- und Borkenkäferschäden. In Deutschland wies Hildebrandt (1973) auf die Eignung mehrstufiger und mehrphasiger Systeme zur integrierten Erfassung forstlicher und landwirtschaftlicher Ressourcen im europäischen Raum hin.

2.5 ZUSTANDSERFASSUNG AUSSCHLIESSLICH DURCH FERNERKUNDUNGS-AUFZEICHNUNGEN UND VISUELLE KONTROLLEN AUS DER LUFT

Die Aufnahmedaten werden ganzflächig oder stichprobenhaft auf Luftbildern, Satelliten- oder anderen Fernerkundungsaufzeichnungen erhoben und ggf. durch Tiefbefliegungen korrigiert. Vor allem bei unwegsamem Gelände, sehr großen Flächen und extensiver Bewirtschaftung liefert diese Methode orientierende Daten.

Terrestrische Aufnahmen beschränken sich hier auf Vorarbeiten für Interpretationsschlüssel und wenige nachträgliche Kontrollen. Detailinformationen über Holzvorrat, Sortierung, Qualität, nicht luftbildsichtbare Schäden usw. sind hierbei allerdings nicht möglich. Als Anwendungsbeispiele seien die Inventur extensiv genutzter Wälder in der UdSSR und der Forest Survey in Alaska genannt (Baitin e.a. 1950; Iwoninski 1952; Wodera 1948; Hildebrandt 1962), außerdem die Erfassung des Schweizer Kastanienvorkommens (EAFV 1959; Hildebrandt 1962).

Alle die genannten Inventurarten können entweder als Zustands-
erfassung einmalig oder für die Verfolgung von Entwicklungen
in bestimmten Zeitabständen (Continuous Forest Inventory)
durchgeführt werden. Bei kontinuierlichen Inventuren empfiehlt
sich die Verwendung permanenter Probeeinheiten (Zöhrer 1977).

3. GEWÄHLTES INVENTURDESIGN

3.1 VORBEREITENDE ÜBERLEGUNGEN

In den bisherigen Kapiteln wurde ein Überblick über Gründe, Anforderungen und verschiedene Systeme für forstliche Großrauminventuren gegeben. Geht man von der Notwendigkeit solcher Inventuren in Europa aus, so erhebt sich die Frage, welches System und Design für die gestellten Anforderungen am zweckmäßigsten ist.

Den Ansprüchen an ein modernes forstliches Inventurverfahren - statistisch abgesicherte Informationen über Fläche- und Vorratsstruktur, ggf. auch Standortmerkmale oder betriebstechnisch relevante Faktoren, bei möglichst geringem Aufwand - schien am besten eine Kombination aus Mehrstufen- und Mehrphasentechniken gerecht zu werden (Heller, Wear 1969; Langley 1969; 1976; Hildebrandt 1973; Stellingwerf 1977, 1978). Ob diese Methode auch wirklich geeignet ist, die hohen Informationsansprüche einer intensiven mitteleuropäischen Forstwirtschaft zu befriedigen und als Alternative zu erprobten terrestrischen Inventurmethoden zu gelten, sollte hier untersucht werden. Es wurde Wert darauf gelegt, auch wirklich eine praxisbezogene operationelle Technik zu entwickeln, die sich anpassungsfähig an die verschiedensten Fragestellungen zeigt, und dabei weitgehend die Möglichkeiten der Fernerkundung zu nutzen.

In den USA sind mehrstufige und mehrphasige Stichprobentechniken schon seit einiger Zeit im Gebrauch (Heller, Wear 1969; Langley 1969). Durch intensive Nutzung von Satellitenaufzeichnungen und Luftbildern und ausgeklügelte Statistik-Prozeduren ließ sich dabei Feldarbeit extrem reduzieren. So wurde in Louisiana, Mississippi und Arkansas der Holzvorrat eines Gebietes von 6 Mio acres (= 2,4 Mio ha) mit nur 10 Bodenproben mit insgesamt nur 6 acres aufgenommen (Langley 1969). Der Repräsentativfehler lag dabei um 13 %. Für eine Anwendung unter mitteleuropäischen Verhältnissen muß dieses Verfahren allerdings stark modifiziert werden, da es in der benutzten Version nur mehr oder

weniger globale Aussagen zuläßt. Zudem liegen in Mitteleuropa auch bezüglich der Waldstruktur andere Verhältnisse vor. Die Wälder sind weniger großflächig und homogen als im Süden der USA.

In ein optimales System muß also noch ein Inventurschritt eingebaut werden, der detaillierte Aussagen auch für kleinparzellierte und stark strukturierte Wälder ermöglicht.

Als sehr flexible Technik, die praktisch beliebige Detailinformation auch für ideelle und flächenhafte Subgebiete liefert, hat sich in Nordfinnland die "grouping method" erweisen (Poso 1972). Bei dieser Methode wird jeder Punkt eines systematischen Punktenetzes nach Luftbildmerkmalen und geographischen Informationen wie Koordinaten, Meereshöhe, Hangneigung, Waldbesitz, Schutz- und sonstige Waldfunktion, Landnutzungsklasse, Standortsmerkmalen, geschätzte Baumhöhe, Bestockung, Vorrat, Holzarten usw. einer bestimmten Gruppe zugeordnet. Für jede dieser Gruppen werden einige Punkte im Gelände aufgesucht und die Ergebnisse der Bodenmessungen auf sämtliche Luftbildpunkte derselben Gruppe übertragen. So erhält jeder Punkt einen kompletten Satz forstlich relevanter Daten und bildet ein selbständiges Inventurmerkmal. Durch Kombinieren entsprechender Datensätze lassen sich auch sehr komplexe Informationen zusammenstellen. Problematisch ist allerdings, daß durch die Vielzahl der Gruppierungsmerkmale theoretisch eine Unzahl von möglichen Straten entsteht, die alle durch Bodenstichproben erfaßt werden müssen. Bei den homogenen Kiefernwäldern im Norden Finnlands trat dieses Problem nicht weiter in Erscheinung. Für mitteleuropäische Verhältnisse wäre aber ein etwas operationelleres Verfahren zu suchen.

Aufbauend sowohl auf Langley als auch auf Poso wurde als Synthese ein auf mitteleuropäische Verhältnisse abgestimmtes 2- bzw. 3-phasiges System entwickelt. Als Informationsquelle dienen multispektrale Landsat-Aufzeichnungen, kleinmaßstäbliche IRC-Luftbilder 1 : 50 000, Kartenmaterial der Forstverwaltung und terrestrische Messungen. Eine schematische Darstellung des Systems gibt Abb. 1.

Für die Interpretation der Satellitendaten stehen digitale (Auswertung als Magnetband) oder analoge Verfahren (Auswertung als photographische Darstellung) zur Verfügung. Hier wurde eine Interpretation am analogen Bildverarbeitungssystem der Firma Interpretation Systems Incorporated (ISI) durchgeführt. Einmal stand ein solches Gerät an der Abteilung Luftbildmessung zur Verfügung, zum anderen ist die analoge Bildverarbeitung einfacher und auch von weniger Geübten schneller durchzuführen als digitale Verfahren. Auch wird beim momentanen Stand der Technik der Ansicht van Roessels (1976) über Computerauswertung von Fernerkundungsdaten zugestimmt: "Machine estimation do not warrant the cost of commercial use".

Deshalb wurde vor allem in Hinblick auf praktische Anwendung ein analoges Verfahren gewählt. Das schließt natürlich nicht aus, daß sich in Zukunft nutzerfreundliche digitale Verfahren durchsetzen werden. Vor allem ihre Objektivität und Reproduzierbarkeit der Messungen sprechen dafür.

Im folgenden Abschnitt wird zur Orientierung eine Kurzfassung der beiden gewählten Inventurversionen vorgestellt. Bezüglich methodischer Einzelheiten wird auf Kapitel 5, 6 und 7 verwiesen. Je nach Größe des Inventurgebietes und den gesteckten Zielen ist das Verfahren 2- oder 3-phasig ausgerichtet.

3.2 3-PHASIGE STICHPROBE

Als Informationsquellen dienen multispektrale Satellitenaufzeichnungen, kleinmaßstäbliche Infrarot-Farbluftbilder 1:50 000 und ergänzende Bodenmessungen. Eine Übersicht des Systems gibt Abb. 1. Die Kostenvorteile beim Verwenden von Satellitenaufzeichnungen als 1. Inventurphase kommen erst bei größeren Flächen voll zum Tragen. Als kleinste Befundeinheit wird deshalb 100 000 ha vorgesehen. Die Flächen-, Vorrats- und Zuwachsinformationen der einzelnen Holzarten ergeben sich generell für den Gesamttraum, lassen sich aber bei kleinen Modifikationen des Systems auch für Untereinheiten ableiten.

3-phasige Version

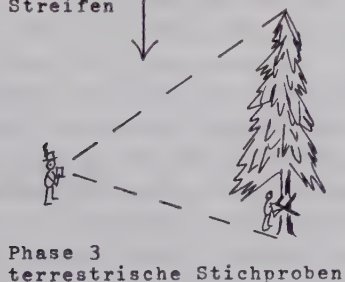
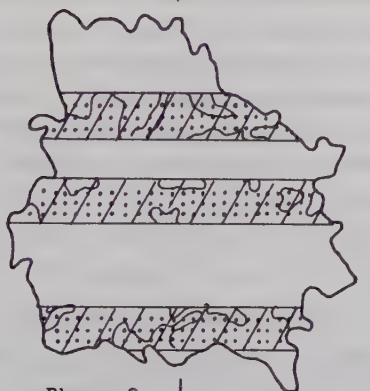
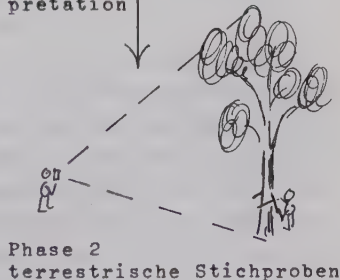
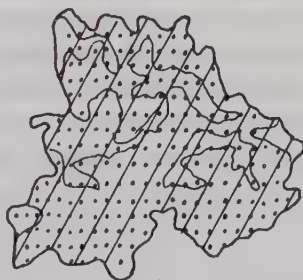


Abb.1

Schematische Darstellung
des gewählten Inventur-
systems

2-phasige Version



Das Prinzip von Inventursystemen mit verschiedenen Aufnahmeebenen ist, durch ganzflächige Interpretation oder Auswahl einer großen Stichprobe der obersten Ebene und der Ansprache von Hilfsvariablen die detaillierte Messung von Zielvariablen auf wenige nachgeordnete Stichproben zu konzentrieren. Die Meßergebnisse der nachgeordneten Stichproben dienen anschließend zum Justieren der Schätzung höherer Inventurebenen oder sie werden entsprechend ihres Flächenanteils auf die ausgeschiedenen Straten hochgerechnet.

Bei der von Langley (1969, 1976) vorgeschlagenen und getesteten Methode wird der Inventurraum auf Satellitenaufzeichnungen in primäre Stichprobeneinheiten unterteilt. Für jede dieser Einheiten ermittelt man den Anteil p_i an der Gesamtwaldfläche, die Summe der p_i -Werte aller Einheiten ergibt 1. Eine kleine Anzahl der Primärstichproben wird anschließend mit der Wahrscheinlichkeit proportional zum jeweiligen p_i -Wert ausgelost und zu genaueren Messungen (Luftbild- und Bodenstichproben) herangezogen. Die dabei ermittelten Vorratswerte jeder dieser Sekundärstichproben werden entsprechend ihres p_i -Anteils an der Gesamtwaldfläche aufs Inventurgebiet hochgerechnet. Die von Langley dazu benutzte Formel lautet:

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{p_i}$$

wobei

- V = Gesamtvorrat des Inventurraumes
- v_i = Vorrat einer Sekundärstichprobe
- p_i = Anteil der Sekundärstichprobe an der Gesamtwaldfläche
- n = Anzahl der Sekundärstichproben

Beim gewählten analogen Vorgehen wird das Inventurgebiet auf den entsprechenden Landsat-Szenen eingezeichnet und in 8 km breite Streifen als primäre Stichprobeneinheiten aufgeteilt (8 km war die größtmögliche Breite für die anschließenden Flugstreifen). Am Bildverarbeitungsgerät ISI werden anschließend die Waldflächen nach vorwiegend Nadelholz oder Laubholz klassifiziert und die Anteile p_{iNh} und p_{iLh} jedes 8 km Streifens an

der gesamten Nadelwald- und Laubwaldfläche berechnet.

Mit der Auswahlwahrscheinlichkeit proportional zu ihrem Anteil an der Gesamtwaldfläche (pps-Verfahren) werden dann diejenigen Streifen ermittelt, die zur detaillierten Interpretation im Maßstab 1 : 50 000 mit Infrarot-Farbluftbildern befliegen werden. Das hat den Vorteil, daß die Luftbilder auf Streifen mit hohem Waldanteil konzentriert werden. Über diese Luftbilder wird ein Punktegitter entsprechend den Gauss-Krüger-Koordinaten gelegt mit der Maschenweite 0,5 km. Durch Luftbildinterpretation und aus entsprechendem Kartenmaterial erhält jeder Punkt Angaben über Koordinaten, Geländehöhe, Waldbesitz, Rückeentfernung zur nächsten Lkw-befahrbaren Waldstraße, Hangneigung, Exposition, natürliche Altersklasse (Kultur, Dickung, Stangenholz, geringes Baumholz, mittelaltes Baumholz, Altholz), Kronenprozent von Fichte, Tanne und Laubholz. Eine zufällige Auswahl von diesen Luftbild-Punkten wird im Gelände aufgesucht und vermessen. Um die Feldarbeit auf walddreiche Gebiete zu konzentrieren und die Fahrtkosten zu minimieren, wurden die Luftbildpunkte zu Blöcken von $4 \times 4 \text{ km} = 64$ Punkte zusammengefaßt und die Waldfläche der Blöcke aufgelistet.

Mit der Trefferwahrscheinlichkeit proportional zu ihrer Waldfläche werden dann so viele Blöcke ausgelost, bis genügend Waldpunkte für Bodenmessungen zur Verfügung stehen.

Die entsprechenden Bodenpunkte werden an Hand der Luftbilder und topographischen Karten im Gelände aufgesucht und sämtliche zur Vorrats- und Zuwachsberechnung nötigen Messungen durchgeführt. Durch Regressionsgleichungen zwischen Luftbildmerkmalen und terrestrischen Messungen erhält jeder Luftbildpunkt individuelle Daten über Holzvorrat und Zuwachs. Wie bei der grouping method (Poso 1972, siehe Kap. 3.1) erhält jeder Gitterpunkt einen kompletten Datensatz und bildet ein selbständiges Inventurelement. Durch die Verwendung von Regressionsgleichungen wird jedoch ein Gruppieren der Luftbildpunkte in unzählige Straten und ebensoviele terrestrische Proben vermieden.

Die hier genannten Variablen sind nur als Beispiele zu betrachten. Das System ist so flexibel, daß auf Wunsch ohne weiteres neue Inventurmerkmale erfaßt werden oder alte weggelassen werden können.

Die für die Flugstreifen getrennt nach Laub- und Nadelholz zusammengestellten Inventurergebnisse können schließlich proportional zum Laub- oder Nadelwaldanteil der einzelnen Streifen aufs Gesamtgebiet hochgerechnet werden. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte gibt Kap. 5.

3.3. 2-PHASIGE STICHPROBE

Die 2-phasige Version basiert auf flächendeckenden IRC-Luftbildern 1 : 50 000 und einigen terrestrischen Messungen. Mit ihr können auch für kleinere Inventurgebiete ab etwa 20 000 ha Daten über Flächen-, Vorrats- und Zuwachsstruktur, Waldschäden, Infrastruktur und zahlreiche andere forstlich relevante Merkmale gewonnen werden. Die Ergebnisse lassen sich ohne weiteres auch für Untereinheiten wie Waldbesitz, Altersklassen, Einzugsbereich eines größeren Holzindustriebetriebes usw. angeben.

Das gesamte Inventurgebiet wird mit kleinmaßstäblichen Luftbildern befliegen und ganzflächig interpretiert. Die Auswertung der Bilder, Auswahl der Feldflächen und Aufstellen der Regressionen erfolgt wie bei 3.2.

Durch das flächendeckende Netz von Stichprobepunkten werden auch ungleichmäßig im Inventurraum verteilte Merkmale repräsentativ erfaßt. Informationen über Teilbereiche lassen sich durch Zusammenfassen entsprechender Punkte leicht ableiten.

Allerdings sind die Befliegungs- und Interpretationskosten pro Flächeneinheit wesentlich höher als beim 3-phasigen Verfahren.

Methodisch denkbar wäre auch noch die Verwendung von großmaßstäblichen Luftbildern entsprechend den Vorschlägen von Rhody (1976, 1978). Als Bindeglied zwischen den kleinmaßstäblichen Luftbildern und den Bodenstichproben könnten sie eventuell den terrestrischen Meßaufwand noch etwas reduzieren. Da aber eine

Reihe von Merkmalen wie Holzart, Brusthöhendurchmesser, Stammschäden, Zuwachs usw. nur durch Bodenmessungen exakt erfaßt werden können, ist eine Mindestzahl terrestrischer Proben unbedingt nötig. Auch waren die auf den Luftbildern 1 : 50 000 ermittelten Parameter straff mit den entsprechenden Bestandsmerkmalen korreliert, so daß auf eine zusätzliche Befliegung und Luftbildinterpretation verzichtet wurde.

3.4 ENTSCHEIDUNGSGRÜNDE FÜR DAS GEWÄHLTE STICHPROBENSYSTEM

Die 3-phasige Version vereint die Vorteile eines mehrstufigen Verfahrens mit pps-Auswahl der für genauere Auswertearbeiten herangezogenen Sekundärstichproben und die einer 2-phasigen intensiven Luftbildinterpretation mit detaillierten Bodenmessungen. Die kostenintensiven Auswertungen lassen sich durch Verwenden von Satellitenaufzeichnungen und pps-Auswahl der Sekundärstichproben reduzieren und auf wenige walddreiche Flächen konzentrieren. Dadurch sinken sowohl Interpretationsaufwand als auch Fahrtkosten. Bei Verwenden einer orthogonalen Stichproberraster zur Interpretation der Luftbilder lassen sich für jeden Punkt eine Vielzahl von Merkmalen ansprechen. Der hier für die Interpretation mögliche Aufwand und die Sorgfalt sind wesentlich höher als bei einer ganzflächigen Auswertung zu vertreten wäre. Außerdem müssen keine Straten ausgeschieden und vermessen werden, jedes Merkmal wird individuell am jeweiligen Stichprobepunkt betrachtet. Durch die Vielzahl von Daten je Bildpunkt und die Regressionen zu den Bodenmessungen lassen sich auch komplexe Informationen zusammenstellen, die statistisch überprüfbar sind. Bei geänderten Inventurzielen kann jederzeit ein neues Merkmal aufgenommen oder ein überflüssiges weggelassen werden.

Die 2-phasige Version ist zwar relativ gesehen teurer, aber noch flexibler bezüglich Aussagen für ideelle oder geographische Teilbereiche. Sie liefert Ergebnisse auch für kleinere Inventurgebiete ab etwa 20 000 ha, die sich noch weiter in Sub-Befundein-

heiten wie Waldbesitz oder Altersklasse gliedern lassen. Bei einer 2-phasigen Stichprobe kann theoretisch jeder Inventurraum, auch unter 20 000 ha, mit beliebiger Genauigkeit erfaßt werden durch entsprechendes Verdichten des Punktenetzes auf den Luftbildern. Bei partieller Verdichtung der Stichproben lassen sich unregelmäßig verteilte Merkmale oder Inventurelemente mit unterschiedlicher Bedeutung und Streuung individuell aufnehmen.

Eine Einschränkung gilt allerdings für beide Inventurversionen: um die Zielvariablen repräsentativ zu erfassen, müssen sie in irgendeiner Weise mit luftbildsichtbaren Merkmalen korreliert sein.

4. TESTGEBIET, VERWENDETES LANDSAT-, LUFTBILD- UND KARTEN-MATERIAL

4.1 LAGE UND WALDSTRUKTUR DES TESTGEBIETES

Für die praktische Anwendung des Inventurmodells wurde ein 91 000 ha großes Testgebiet im Südschwarzwald gewählt. Es umfaßt die Forstamtsbezirke St. Märgen, Kirchzarten, Titisee-Neustadt, Schluchsee, St. Blasien, Todtnau und Todtmoos (siehe Abb.2).

Die reine Waldfläche beträgt dabei etwas über 53 000 ha. Im Untersuchungsraum überwiegt der Privatwaldanteil mit 47,2 %, gefolgt vom Staatswald mit 29,3 % und Kommunalwald mit 23,5 % der Fläche. Die Inventur erstreckte sich über alle Besitzarten, wobei die Ergebnisse freilich aufgeschlüsselt wurden.

Das Inventurgebiet gehört zum Wuchsgebiet Schwarzwald und umfaßt die Regionalgesellschaften montane und paenemontane Buchen-Tannenwälder und Tannen-Mischwälder sowie hochmontane Tannen-Fichten-Buchenwälder. An wichtigen Holzarten kommen Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer, Europäische und Japanische Lärche, Buche, Bergahorn, Esche, Bergulme, Traubeneiche, Birke, Erle und Hainbuche vor.

Es überwiegt der Altersklassenwald, doch findet man auf größeren Flächen auch Plenterwald und weitgehend naturbelassene Schluchtwälder. An Bestandestypen sind Reinbestände und die verschiedenartigsten Mischbestände vertreten.

Die Geländehöhen schwanken zwischen 400 m im Zartener Becken und fast 1500 m am Feldberg. Das Relief ist meist stark bewegt, an geologischem Ausgangsmaterial stehen Gneis und Granit an. Dieser Raum ermöglicht also nicht nur eine Anwendung der Methodik unter "Laborbedingungen", sondern unter wirklich praxisrelevanten Umständen.

Außerdem lagen für diesen Raum zum Vergleich Forsteinrichtungsunterlagen neueren Datums vor. Eine direkte Gegenüberstellung schied zwar wegen der unterschiedlichen Aufnahmemethoden und Stichtage aus, auch waren Forsteinrichtungswerke nur für 53 % der Waldfläche vorhanden. Sie ermöglichten aber immerhin einen orientierenden Größenvergleich der Flächen und Vorräte.



Abbildung 2: Karte der zum Testgebiet zählenden 7 Forstämter sowie Lage der beiden beflugten Stichprobe-Streifen
(Grundlage: Forstbezirkskarte 1 : 600 000 der FD Freiburg)



Abbildung 3: Photographische Darstellung einer Landsat-Aufzeichnung des Testgebietes (Band 6) mit primären Stichprobe-Streifen

4.2 VERWENDETES LANDSAT-, LUFTBILD- UND KARTENMATERIAL

LANDSAT-AUFZEICHNUNGEN

Die neuesten verfügbaren, während der Sommermonate aufgenommenen und 100 % wolkenfreien Landsat-Aufnahmen des Inventurgebietes stammten vom 9.8.1975.

Die Aufnahmeentfernung bei Landsat 2 zur Erde beträgt 920 km. Etwa 14mal am Tag umrundet er die Erde in parallelen Orbitalen von Nord nach Süd. Jedes Gebiet der Erde mit Ausnahme der Polkappen wird alle 18 Tage überflogen und kann dabei theoretisch neu aufgenommen werden. Das zentrale Aufnahmesystem besteht aus einem multispektralen Scanner, der Gebiete von 185 x 185 km in 4 Spektralbereichen des sichtbaren Lichtes und des nahen Infrarot-Bereiches aufzeichnet.

Band 4	Grünbereich	0,5 - 0,6 Micrometer
Band 5	Rotbereich	0,6 - 0,7 "
Band 6	nahes Infrarot	0,7 - 0,8 "
Band 7	nahes Infrarot	0,8 - 1,1 "

Die Scannerdaten werden auf telemetrischem Wege zu den verschiedenen Empfangsstationen zur Erde gefunkt und dort auf Magnetband gespeichert. Für den Nutzer stehen sie als bereits geometrisch korrigierte, computer-compertible Magnetbänder (CCT) und in der Form von Schwarz-Weiß-Diapositiven und Negativen für die 4 Kanäle oder als entsprechende Colorkomposite zur Verfügung. Für diese Arbeit lagen SW-Negative im 6 x 6-Format vor. Eine Landsat-Aufzeichnung des Testgebietes zeigt Abb.3.

An LUFTBILDERN wurden Infrarot-Farbaufnahmen im Maßstab ca. 1 : 50 000 verwendet, aufgenommen von der Firma Delta Luftbild in Egelsbach, freigegeben vom Regierungspräsidium Darmstadt am 25.9.78 unter der Nummer 1673/78. Die Qualität war ausgezeichnet.

Aufnahmedatum	19.8.78, 10.30-11.00 Uhr
Aufnahmesystem	Zeiss FMK A4 15/23, Zeiss Pleogon c = 152,99 mm
Film	Kodak Infrared 2443
Maschine	Aero Commander 680 f

Flughöhe ca. 8 000 m
Bildmaßstab ca. 1 : 50 000, Bildfläche entsprechend etwa 11x11 km im Gelände

Es wurden 2 Streifen mit jeweils etwa 30 km Länge geflogen, die genaue Lage zeigt Abb. 2 und 3.

Bei insgesamt 37 500 ha Befliegungsfläche fielen nur 16 Luftbilder an. Durch den kleinen Maßstab ließen sich die Befliegungskosten und auch die späteren Interpretationskosten deshalb sehr gering halten. Daß auch auf diesen für deutsche Verhältnisse doch etwas kleinmaßstäblichen Bildern Details wie Kronenschlußprozent erkennbar waren, zeigen Kap. 6 und 7.

An Kartenmaterial wurde verwendet:

- Karte der regionalen Gliederung von Baden-Württemberg der Landesforstverwaltung, Maßstab 1 : 600 000
- Forstbezirkskarte der Forstdirektion Freiburg 1 : 600 000
- forstliche Planungskarte 1 : 25 000 der FD Freiburg
- Waldfunktionenkarte 1 : 50 000 des MELU Stuttgart
- Top. Karten 1 : 25 000 des Landesvermessungsamtes Stuttgart



Abb. 4: Luftaufnahme des Schluchsee-Gebietes im Südschwarzwald
(Originalmaßstab 1 : 50 000)

5. DURCHFÜHRUNG DER INVENTUR

5.1 ANALOGE VERARBEITUNG DER LANDSAT-DATEN

5.1.1 VORARBEITEN UND KURZE GERÄTEBESCHREIBUNG

Aus den vorliegenden 6 x 6 cm Negativen der betreffenden Landsatzszenen (Maßstab 1 : 3,1 Mio) wurden SW-Diapositive aller 4 Kanäle im Maßstab 1 : 600 000 hergestellt. Als Einpaßgrundlage für die Vergrößerung diente die Forstbezirkskarte 1 : 600 000; Rhein und Bodensee wurden dabei als Orientierungselemente benutzt. Damit konnten die Grenzen der einbezogenen Forstämter und damit das Inventurgebiet aus der Forstbezirkskarte einfach auf die transparenten Satelliten-Bilder hochgezeichnet werden. Siehe dazu auch Abb. 2 und 3. In die Forstbezirkskarte wurden vorher noch die Gauss-Krüger-Gitterlinien (West/Ost-Richtung) im Abstand von 8 km eingetragen. Zum Einhängen diente dabei die mitten durchs Inventurgebiet gehende Gitterlinie 53 00. In die Karte übertragen und ebenfalls auf die Landsat-Dias hochgezeichnet wurden demnach die Linien 53 00, 53 08, 53 16 bzw. 52 92, 52 84 usw. Diese 8 km-Streifen fungierten als primäre Stichprobeneinheiten. 8 km war die für die spätere Befliegung größtmögliche Streifenbreite.

Die analoge Bildverarbeitung erfolgte an einer ISI-Anlage, bestehend aus Videokamera, VP-8 Image Analyzer, AP-3 Analog Encoder, AD-310 Video Disc Controller und einem Conrac Monitor (siehe Abb. 5). Detaillierte Informationen über das Gerät sind der Betriebsanleitung der Firma ISI zu entnehmen. Hier soll nur der Interpretationsvorgang erläutert werden:

Das transparente Satellitenbild wird über eine Videokamera auf einen Monitor übertragen. Auf Wunsch kann das Bild auch über den AD-310 gespeichert und bei Bedarf wieder am Monitor dargestellt werden. Zur besseren Differenzierung und Identifizierung von Bildobjekten kann man dabei den Kontrast logarithmisch verstärken. Auch können 2 Bilder verschiedener Spektralbereiche überlagert und damit eventuelle Reflexionsunterschiede bestimmter Bildobjekte in 2 Kanälen zu deren Klassifizierung genutzt werden.

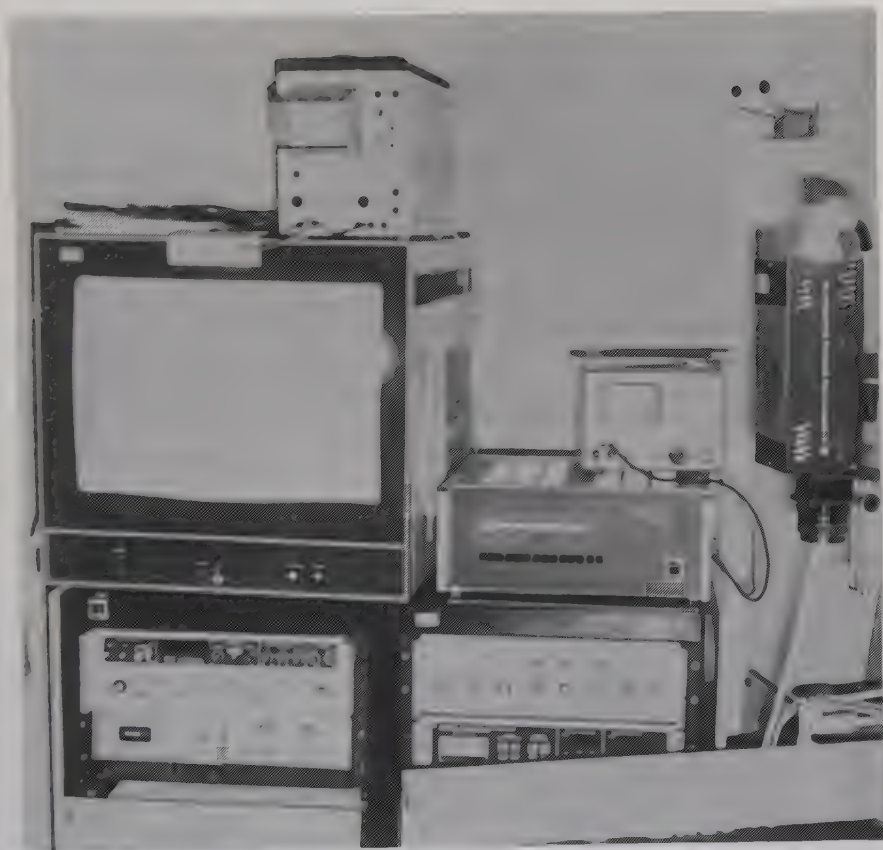


Abbildung 5: Analoges Bildverarbeitungssystem ISI

Außerdem ist eine Verarbeitung in Farbäquidensiten möglich. Am Monitor sind die Bilder in bis zu 8 variable Grautonstufen zerlegbar, die obere und untere Grenze jeder Stufe kann dabei vom Interpreten definiert werden. Jede Grautonstufe läßt sich mit einer bestimmten Farbe unterlegen. Dadurch können ggf. visuell kaum sichtbare Grautonunterschiede verschiedener Landnutzungsformen deutlich gemacht werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß gleiche Landnutzungsformen auch in gleichen Grautonbereichen abgebildet werden.

Die geräteinterne Flächenangabe jeder Farbe bzw. Landnutzungs-klasse läßt sich an einer Digitalanzeige ablesen und in Geländemaße umrechnen.

Für die Klassifikation von Waldflächen wurden als methodische Vorarbeit verschiedene Einzelbild- und Kompositenverfahren getestet (Schade 1978). Bei 12 Gebieten im südlichen Schwarzwald und der Baar mit einem Waldanteil zwischen 300 ha und 7000 ha verglich man den Waldanteil auf Landsat-Bildern und kleinmaßstäblichen Schwarzweiß-Luftbildern. Die Korrelation zwischen den auf den Satellitenbildern und auf den Luftbildern ermittelten Waldflächen war für alle getesteten Verfahren recht hoch. Siehe dazu Abb. 6

Waldfläche Satellit
in ha

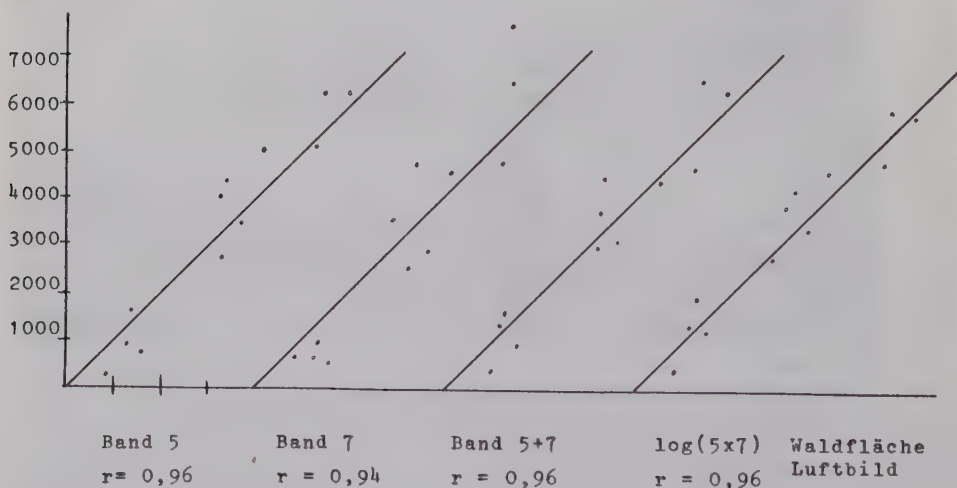


Abbildung 6: Vergleich der auf Satelitenaufzeichnungen und Luftbildern ermittelten Waldflächen von 12 Testgebieten

Wie Abb. 6 zeigt, ist selbst bei für Satellitenaufnahmen doch recht kleinen Flächen von wenigen hundert Hektar eine analoge Flächenermittlung mit einer für Mehrphasen-Stichproben völlig ausreichenden Genauigkeit möglich.

Für eine weitergehende Klassifizierung der Waldfläche in Nadel- und Laubholz erwies sich die logarithmische Darstellung von Band 5 (Rotbereich) am geeignetsten. Beim vorliegenden Bildmaterial wies Band 4 sehr starke Scan-Streifen auf, die eine einwandfreie Klassifizierung unmöglich machten. Die beiden Infrarot-Bänder 6 und 7 eigneten sich sehr gut zur Nadelwald-Klassifikation. Laubwald dagegen war nicht immer von Siedlungsgebieten und landwirtschaftlich genutzten Flächen zu unterscheiden.

Zu sehr gut vergleichbaren Ergebnissen kam auch Carneiro (1978; Carneiro und Hildebrandt 1978) bei mit anderen analogen Verfahren durchgeführten Untersuchungen über die optimalen Landsat-Bänder zur Klassifizierung verschiedener Waldtypen: "Band 5 seems to be the most informative for the forests of the deciduous region and band 7 for those of the mixed forest region. The identification of forests within the conifer region was best when band 5 and 7 were used together".

Bei der vorhandenen Anlage bereitete das exakte Überlagern von 2 Bildern erhebliche Schwierigkeiten, eine 100 %ige Kongruenz war praktisch nicht zu erreichen. Deshalb erwies sich die Einzelbildverarbeitung in diesem Fall als günstiger.

Bei digitalen Systemen wäre dieses Problem natürlich gelöst. Auch sind unter Umständen Klassifizierungen von einzelnen Holzarten möglich (Carneiro 1978). Deshalb sollten zukünftig auch die Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung geprüft werden.

5.1.2 KLASSIFIZIERUNG DER GESAMTFLÄCHE UND AUSWAHL DER SEKUNDÄRSTICHPROBEN

Die Satellitenaufzeichnungen als erste Inventurphase sollen Aufschluß geben über die Verteilung der ausgeschiedenen Flächenkategorien auf die Primärstichproben (hier 8 km-Streifen). Ziel der analogen Bildverarbeitung ist nicht, die absoluten Flächen verschiedener Holzarten im Inventurgebiet festzustellen, sondern nur die relativen Anteile jeder Primärstichprobe an den ausgeschiedenen Klassen. Die durch Luftbildinterpretation und terrestrische Messungen gewonnenen entsprechenden Flächen-, Vorrats- und Zuwachswerte einiger ausgewählter Streifen (Sekundärstichproben) lassen sich an Hand dieser Anteile aufs Gesamtgebiet hochrechnen. Enthält ein Streifen z.B. 17 % der gesamten als "Laubholz" und 9 % der als "Nadelholz" klassifizierten Fläche des Gesamtgebietes, so wird bei homogener Waldstruktur sein gemessener Laubholz- und Nadelholzvorrat ebenfalls 17 % bzw. 9 % des gesamten Vorrats dieser Holzartengruppen im Inventurgebiet entsprechen.

Die Flächenanteile jeder Sekundärstichprobe an den auf Landsat-Aufzeichnungen ausgeschiedenen Holzartengruppen fungieren hier also nur als Hilfsvariablen, um die gemessenen Vorrats-, Zuwachs- und exakten Flächenwerte dieser Holzartengruppe aufs gesamte Inventurgebiet hochzurechnen.

Die Auswertung der Landsat-Aufzeichnungen im Einzelnen: Als Bezugsflächen für eine analoge Klassifizierung wurden im Inventurgebiet zuerst einige Testbestände mit überwiegend Nadelholz, überwiegend Laubholz und verschiedene Mischbestände ausgeschieden. Im vorliegenden Fall ließ sich dies auf vorhandenen Luftbildern durchführen. Liegen keine geeigneten Bilder vor, kann man die Testflächen auch direkt im Gelände ausscheiden und kartieren.

An Hand dieser Vergleichsbestände kann der Interpret am Monitor die entsprechenden Flächenkategorien durch ihre Grauwerte definieren. Als Grundlage für die Klassifizierung diente eine logarithmisch kontrastverstärkte Farbäquidensitendarstellung

von Band 5. Der Interpret setzte für jeden Bestandestyp gut-
ächtlich die obere und untere Grenze der Äquidensite fest.
Durch direkten Vergleich mit den Testbeständen wurde am Moni-
tor versucht, jedem Waldtyp eine bestimmte Farbe zuzuordnen.
Nadel- und Laubreinbestände ließen sich ohne Schwierigkeiten
abgrenzen. Außerhalb des Inventurgebietes in der Rheinebene
liegende Nadelholzbestände konnten weiter untergliedert werden
in Kiefern- und Fichte/Douglasien-Bestände. Im Inventurgebiet
selbst kamen aber keine nennenswerten Kiefern- oder Douglasien-
bestände vor. Vom Satellit aus sichtbare größere Tannen-Rein-
bestände waren ebenfalls äußerst selten, so daß die Nadelwald-
fläche nicht weiter aufgeschlüsselt wurde.

Bei der relativ geringen Auflösung von Landsat 2 (ein Pixel
entspricht 80 x 80 m im Gelände) war es sehr schwierig bis un-
möglich, die verschiedenen Übergangsstufen zwischen Rein- und
Mischbeständen sowie die Mischungsform sicher anzusprechen. Des-
halb schlug man Mischbestände nach ihrer Hauptholzart entweder
den Klassen Nadelwald oder Laubwald zu. Beide Klassen erhielten
durch die Äquidensitendarstellung eine bestimmte Code-Farbe.

Die gesamte Nadelholz- und Laubholzfläche des Inventurgebietes
wurde an der Digitalanzeige des VP-8 jeweils gleich 100 % ge-
setzt. Anschließend schnitt man auf dem Monitor ein Fenster je-
des 8 km-Streifens heraus und konnte die Anteile an der Laub-
und Nadelwaldfläche des Gesamtraumes streifenweise in Prozent
ablesen. Die Prozedur wurde mehrmals wiederholt und die Ergeb-
nisse gemittelt. Wesentliche Abweichungen bei den Wiederholungen
traten dabei nicht auf.

Tabelle 1: Prozent-Anteil der primären Stichprobestreifen an der
Nadel-, Laub- und Gesamtwaldfläche des Inventurgebietes

Streifen Nr.	1	2	3	4	5	6	Σ
Nadelwald	1,2	6,2	22,1	36,7	20,5	13,3	100,0
Laubwald	6,6	17,0	23,6	23,2	17,3	12,3	100,0
Gesamtwald	2,8	9,4	22,4	32,5	19,9	13,0	100,0

Von den 6 Primärstichproben wurden 2 zufällig ausgewählt für eine Befliegung mit kleinmaßstäblichen Luftbildern und zur weiteren Interpretation. Zur Konzentration der aufwendigen Inventurarbeiten auf walddreiche Gebiete erfolgte die Auslosung der Sekundärstichproben nach dem pps-Prinzip mit der Wahrscheinlichkeit proportional zu ihrem Anteil an der Gesamtwaldfläche. Dazu wurden die Waldanteile aller Streifen aufgelistet und durch Zufallszahlen zwischen 1 und 100 zwei Sekundärstichproben ausgelost (ohne Zurücklegen). Walddreiche Streifen haben dabei eine höhere Chance ausgelost zu werden. 2 Streifen sind für die Streuungsberechnung beim pps-Verfahren mindestens nötig (Langley 1969). Die Auslosung ergab eine Befliegung von Streifen 3 und 5. Sie überdeckten etwa $1/3$ des Gesamtraumes.

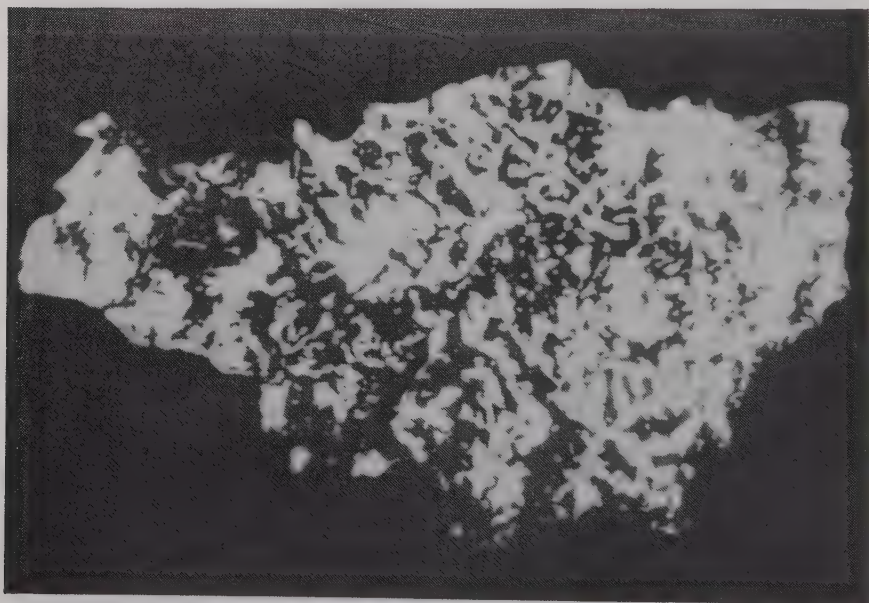


Abbildung 7: Schwarzweiß-Äquidensitendarstellung des Testgebietes am Monitor der ISI-Anlage (im Original farbcodiert)

5.2 AUSWERTUNG DER LUFTBILDER 1 : 50 000

In der 2. Inventurphase beflog man die dafür ausgeschiedenen Sekundärstichproben mit kleinmaßstäblichen IRC-Luftbildern und interpretierte für jeden Punkt des Stichprobenrasters (vgl. 3.2) die relevanten Luftbildparameter. Informationen über die technischen Daten und genaue Lage der Bilder gibt Kap. 4.

Auf Grund der pps-Auswahl wurden 2 oder 6 primäre Stichproben befliegen, insgesamt etwa 37 500 ha. Der Waldanteil lag bei 22 500 ha. Streuungsschätzungen ergaben, daß für detaillierte Flächen- und Vorratsberechnungen mit einem Stichprobenraster etwa 1 000 Luftbildpunkte nötig sind, um den Repräsentationsfehler für die wichtigsten Merkmale unter $\pm 5 \%$ zu halten. Das entsprach bei der vorhandenen Waldfläche einem Abstand der Luftbildstichproben von $0,5 \times 0,5$ km.

Aus der forstlichen Planungskarte 1 : 25 000 wurden dann die Koordinaten derjenigen Punkte bestimmt, die innerhalb der gewählten 7 Forstamtsbezirke lagen. Als Koordinatennetz diente das Gauss-Krüger-System mit Maschenweite $0,5$ km. Die entsprechenden Geländehöhen der Gitterpunkte wurden der topographischen Karte 1 : 25 000 entnommen.

5.2.1 ORTHOGONALES PUNKTERASTER

Für eine repräsentative Flächenerfassung und die Festlegung permanenter Probepunkte für Folgeinventuren ist eine präzise Übertragung der Kartenpunkte auf die Luftbilder nötig. Verwendet man ein unkorregiertes Punktegitter zur Flächenschätzung, werden die höhergelegenen Flächen auf Grund der Maßstabsschwankungen überrepräsentiert (vgl. Schindler 1967 u.a.).

Eine Folgeinventur mit permanenten Luftbildplots ist nur dann möglich, wenn auf beiden Luftbildserien auch wirklich die gleichen Geländepunkte interpretiert werden.

Eine präzise und anwendungsfreundliche Methode zur Übertragung von Geländepunkten auf Luftbilder hat Kölbl entwickelt (Kölbl 1978, Kölbl und Trachsler 1978). Mit seiner freundlichen Unterstützung konnten an der Ecole Polytechnique Federal Lausanne sämtliche dazu nötigen Arbeiten durchgeführt werden.

Zunächst wurden die Orientierungselemente (räumliche Koordinaten des Aufnahmestandpunktes, Bildneigung φ, ω, χ) aus 8 Paßpunktmessungen pro Bild rekonstruiert. Besonders geeignet für Paßpunkte sind markante Wegkreuzungen und Brücken. Geländekoordinaten und Höhen wurden aus der topographischen Karte 1 : 25 000 entnommen, die entsprechenden Bildkoordinaten wurden an einem Monokomparator gemessen. Das speziell dafür entwickelte Programm ORILUF berechnet die Orientierungselemente aus Paßpunktkoordinaten und Kammerkonstante, läßt grobe Fehler bei der Paßpunktbestimmung erkennen und gibt die Einpaßgenauigkeit an. Die auftretenden Fehler bei der Lokalisation der Stichprobenpunkte bewegen sich bei etwa 2 - 3 m (Kölbl und Trachsler 1978).

Zur Erstellung des Punkterasters wurden neben den Orientierungselementen noch die Geländekoordinaten und -höhen der Stichprobenpunkte benötigt. Als Referenz diente die topographische Karte 1 : 25 000. Auf Grund dieser Daten lassen sich die Geländekoordinaten in entsprechende Bildkoordinaten transformieren. Ein Schnellausdruck des erstellten Punkterasters läßt grobe Fehler, Vergessen oder doppelte Eingabe von Stichprobenpunkten erkennen. Im Anschluß daran wird das endgültige Raster samt Rahmenmarken und Paßpunkten an einer computergesteuerten Zeichenanlage auf hochtransparente Folie kartiert. Die zusätzliche Kartierung von Rahmenmarken und Paßpunkten ermöglicht eine präzise Montage der Folie auf das Luftbild.

Der Fehler bei der Lokalisation der Stichproben lag im vorliegenden Fall bei etwa 0,1 mm. Das entspricht bei einem Bildmaßstab von 1 : 50 000 einer Abweichung von ± 5 m. Eventuell ließe sich durch Abgreifen der Paßpunktkoordinaten aus der Grundkarte 1 : 5 000 dieser Restfehler noch reduzieren. Aber selbst der jetzige Fehler von 0,1 mm liegt innerhalb der Zeichengenauigkeit und dürfte zu vernachlässigen sein.

"Durch die computergesteuerte Erstellung des Stichprobenrasters wird die Verwaltung der Stichprobepunkte sehr erleichtert. So können durch entsprechende Vorkehrungen im Rechenprogramm Doppelhebungen oder Lücken im Überdeckungsbereich benachbarter Bilder bereits bei der Erstellung der Punktfolien ausgeschaltet werden. Gleichfalls läßt sich bei der Datenverarbeitung der Bezug der Landnutzungsdaten zur politischen Einheit (Gemeinde) her-

stellen, der Interpret braucht sich daher um die Gemeindegrenzen nicht zu kümmern. Schließlich können bei Folgeaufnahmen die Angaben über die vorhergehende Erhebung in die Folie mit eingedruckt werden. Bei Flugstreifen von 60 % Längsüberdeckung muß übrigens das Stichprobenraster nur für jedes zweite Luftbild erstellt werden.

Da die Nutzungen nur in wohldefinierten Punkten anzusprechen sind, kann für einzelne Merkmale falls erforderlich ein höherer Aufwand getrieben werden, als dies bei einer flächenhaften Interpretation zulässig wäre."

Diese Bemerkung von Kölbl und Trachsler (1978) trifft voll zu. Bei aller Präzision und ausgeklügelter Methodik hat sich das Verfahren als wirklich praxisorientiert und nutzerfreundlich erwiesen.

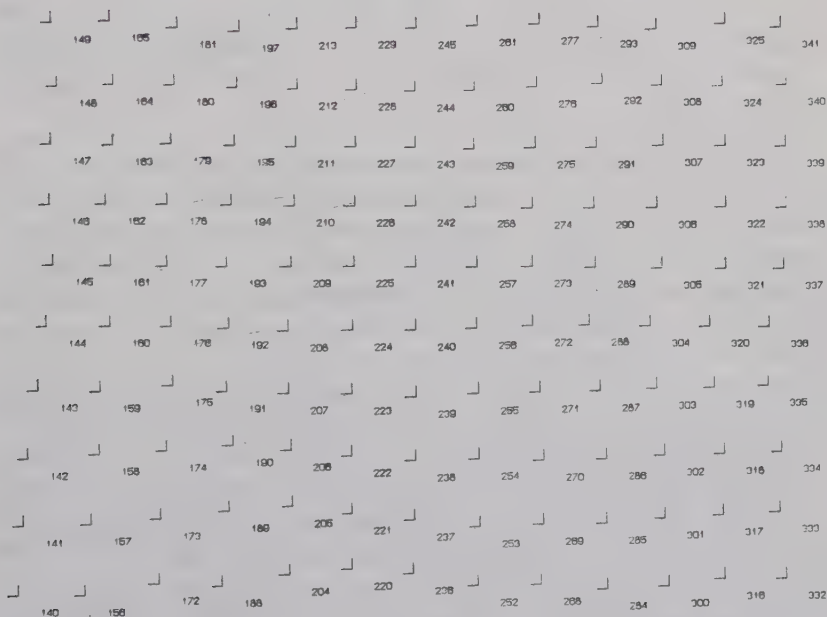


Abbildung 8: Korrigiertes Stichprobenraster zur Interpretation der Luftbilder (hergestellt an der EPF Lausanne)

5.2.2 INTERPRETATION DER STICHPROBENPUNKTE

Durch die Möglichkeit der Fernerkundung bekommt heute der Forstmann ein wirkungsvolles Instrument in die Hand, Inventurfragen schneller und effektiver zu lösen als mit rein terrestrischen Methoden. Allerdings sollten ihre Grenzen auch realistisch akzeptiert und nur Merkmale aufgenommen werden, die sich sicher ansprechen lassen. Deshalb konzentrierte sich die Interpretation an den einzelnen Luftbild-Stichprobenpunkten auf wenige, aussagekräftige Merkmale die klar zu identifizieren waren:

ALTER

Das Alter gilt neben der Baumart als eine der wichtigsten Variablen für den Bestandesvorrat (zahlreiche Ertragstafeln, Tandon 1974). Sind Forsteinrichtungsunterlagen vorhanden, kann daraus das Alter für den Bestand, in dem der Stichprobenpunkt liegt, entnommen werden. Dies führt zweifellos zu gesicherten Ergebnissen, ist aber relativ arbeitsaufwendig durch Zuordnen und Herausuchen der Bestände.

Liegen Einrichtungsunterlagen nicht oder nur teilweise vor, läßt sich das Bestandesalter auch über Luftbildmerkmale wie Kronendurchmesser, Höhe und Stammzahl schätzen. Bei numerischer Erfassung dieser Parameter auf den Luftbildern 1 : 50 000 tauchen allerdings erhebliche Meßschwierigkeiten auf. Auch sind direkte statistische Rückschlüsse auf das Bestandesalter etwas problembehaftet. Als Alternative dazu wurde an etwa 100 Trainingsbeständen die Altersklasse der Einrichtungswerke mit dem visuellen Eindruck unter dem Spiegelstereoskop verglichen. An Hand einiger Lernstichproben war es bald möglich, selbst auf den Luftbildern 1 : 50 000 nach optischem Eindruck der Bestandeshöhe unter dem Stereoskop, der Stammzahl und der Kronengröße die richtige der 8 Altersklassen mit hoher Trefferquote zu schätzen.

Für ein operationelles Verfahren schienen weniger Klassen allerdings sicherer zu sein. Das entspricht auch der Feststellung anderer Interpreten, u.a. der von Hildebrandt (1979): "Grundsatz sollte sein, nur wenige Klassen zu bilden um nicht unsichere Interpretationsergebnisse zu präsentieren und damit das gesamte

Inventurverfahren zu diskreditieren".

Bei der endgültigen Auswertung der Luftbilder wurden deshalb nur 6 Klassen in Anlehnung an die natürlichen Altersklassen der Forsteinrichtung ausgeschieden: Kultur, Dickung, Stangenholz, geringes Baumholz, mittelaltes Baumholz und Altholz.

Die ausgeschiedenen Kulturen, Dickungen, Stangenhölzer und geringen Baumhölzer entsprachen dabei den natürlichen Altersklassen der deutschen Forsteinrichtung. Die Stangenhölzer lagen im Altersbereich 20 - 50 Jahre und wiesen unter den Wuchsverhältnissen im Schwarzwald einen mittleren Durchmesser von etwa 14 cm auf. Das Alter der geringen Baumhölzer lag zwischen 50 und 90 Jahren, ihr mittlerer Durchmesser bei 25 cm.

Die auf dem Luftbild ausgeschiedenen Gruppen mittelaltes Baumholz und Altholz wichen etwas von den natürlichen Altersklassen mittleres und starkes Baumholz der Forsteinrichtung ab. Bei den Wuchsverhältnissen im Schwarzwald wird ein Bestandesmitteldurchmesser von 50 cm (Grenze zwischen mittlerem und starkem Baumholz) meist erst im Alter von über 150 Jahren erreicht. Es schien daher sinnvoll, diese Grenze etwas nach unten zu verschieben. Um Verwechslungen mit der Nomenklatur der Forsteinrichtung zu vermeiden, wurden diese Altersklassen mittelaltes Baumholz und Altholz benannt. Die mittelalten Baumhölzer waren nach den Einrichtungsunterlagen etwa 90 - 130 Jahre alt, ihr Mitteldurchmesser betrug 33 cm. Als Altholz wurden Bestände über 130 Jahre bezeichnet, ihr mittlerer Durchmesser lag bei 46 cm.

Wie die Mitteldurchmesser der ausgeschiedenen Altersklassen und die Regressionsgleichungen in Kap. 6 zeigen, erwies sich die nach diesen Kriterien durchgeführte visuelle Klassifikation als geeignetes Verfahren der Altersschätzung von Beständen. Dieses Vorgehen setzt natürlich einen geübten und sachkundigen Interpreten voraus. Eine aufwendige numerische Methode würde aber durch die auftretenden Meßprobleme und den fehlenden eindeutigen statistischen Zusammenhang zwischen Luftbildparametern und Bestandesalter auch nicht zu besseren Ergebnissen führen.

KRONENPROZENT

Ein weiterer aussagekräftiger Parameter für den Vorrat einer Baumart ist ihr Anteil an der Bestandesfläche. Es bietet sich an, diesen Anteil auf Luftbildern über die beschirmte Fläche einzuschätzen. In % ausgedrückt wird dieser Anteil an der Bestandesfläche im folgenden das Kronenprozent einer Holzart genannt. So bedeuten in einem Mischbestand aus Fichte, Tanne und Buche ein Kronenprozent für Fichte von 40, für Tanne von 20 und für Buche von 30, daß 40 % der Bestandesfläche mit Fichtenkronen überschirmt sind, 20 % mit Tannen- und 30 % mit Buchenkronen bei 10 % Bestandeslücken.

Stellingwerf und Benessala (1977, 1978) benutzten nur diese von ihnen "crown cover" genannte Variable zur Schätzung des Bestandesvorrats in österreichischen Buchen- und Fichtenwäldern. Auch Untersuchungen von Zobeiri (1972) im schweizer Gebirgswald zeigten, daß von den getesteten Variablen Baumhöhe, Kronendurchmesser und Beschirmungsgrad letztere am straffsten mit dem Vorrat korreliert war.

Das Kronenprozent ist ein idealer Luftbildparameter: Die Überschirmungsanteile einzelner Holzarten sind praktisch nur auf Luftbildern operationell zu messen, zur Ermittlung benötigt ein entsprechend kleines Punkteraster mit 20 bis 30 Punkten (Zobeiri 1972), das Ausscheiden fester Probeflächen entfällt, Maßstabschwankungen sind bedeutungslos.

Da dieser Parameter eine flächenhafte Dimension hat, ist jeder Punkt des orthogonalen Stichproberasters als Zentrum einer Probefläche zu verstehen. Um den Charakter der individuellen Interpretation eines Stichprobepunktes zu wahren, wurde die Luftbildinterpretation und auch die anschließende terrestrische Messung auf die unmittelbare Umgebung des Zentrums konzentriert.

Zum Messen des Kronenprozentes auf den Luftbildern 1 : 50 000 wurde ein Raster mit 4 x 5 Punkten auf transparenten Mikrofilm kopiert. Die endgültigen Maße betrugen 1 x 0,75 mm und entsprachen mit 50 x 37,5 m etwa der Größe der terrestrischen Meßfläche (siehe Kap. 5.4). Der Punkteabstand von 0,25 mm entsprach einer Geländedistanz von 12,5 m.

Die hochtransparente Rasterfolie wurde über den Stichprobenmittelpunkt gelegt mit der langen Seite in Nord-Süd-Richtung. Lag der Punkt so nahe am Bestandesrand, daß ein Teil des Mikrorasters außerhalb lag, wurde es entsprechend verschoben. Die veränderte Lage wurde in den Unterlagen vermerkt und bei der Bodenmessung berücksichtigt. Sie betrug im Höchstfall 0,38 mm entsprechend 19 m.

Nach Herleiten eines Interpretationsschlüssels und ausreichendem Training waren die wichtigsten im Inventurgebiet vorkommenden Holzarten auch auf den kleinmaßstäblichen Bildern 1 : 50 000 gut zu identifizieren. Selbst Fichte und Tanne konnten an Hand von Textur und Kronenfärbung unterschieden werden. An den Testflächen ließen sich auch noch Douglasie, Lärche und Kiefer ausscheiden. Da diese Holzarten im gesamten Untersuchungsgebiet aber nur sporadisch vorkamen (knapp 2 % der Fläche) und meist Fichte beigemischt waren, konnten sie unter Praxisbedingungen kaum identifiziert werden und wurden deshalb in der Kronenklasse Fichte belassen.

Bei häufigerem Vorkommen wären diese Holzarten natürlich als eigene Klasse ausgeschieden worden. Das gilt auch für andere Baumarten, die im Inventurraum nicht auftraten.

Einzelnen Laubhölzer konnten auf den August-Luftbildern nicht identifiziert werden. Die Variation der Kronentextur und -farbe innerhalb einer Baumart war meist größer als zwischen verschiedenen Arten. Eventuell könnten bei Frühjahrs- oder Herbstbefliegungen phänologische Unterschiede genutzt werden (Dörfel 1978).

Da die Frage der optimalen Baumartenerkennung jedoch nicht das Thema dieser Studie war, wurden auf dem gegebenen Bildmaterial die sicher anzusprechenden Holzartengruppen ausgeschieden. Das waren hier Fichte incl. etwa 2 % Douglasie, Kiefer und Lärche, die Tanne und die Laubholzgruppe mit einem überwiegenden Anteil an Buche.

Bei der Auswertung unter dem Stereoskop wurden alle Punkte des Mikrorasters gezählt, die auf Kronen der genannten Holzartengruppen und in Zwischenräume fielen. Dabei entsprach ein Punkt einem Kronenprozent von 5 %.

Neben Alter und Kronenprozent wurden noch andere vorratsrelevante Luftbildparameter in Betracht gezogen: stereoskopisch gemessene Baumhöhe, Kronendurchmesser und Stammzahl.

STEREOSKOPISCH GEMESSENE BAUMHÖHE

An systematischen Rasterpunkten ist die Baumhöhe nur in seltenen Fällen stereoskopisch zu bestimmen, meist hat man keine Bodensicht. Auf den kleinmaßstäblichen Luftbildern ergeben sich außerdem große Schwierigkeiten, die Meßmarke exakt an der Baumspitze anzusetzen. Durch die starken Höhenunterschiede von über 1000 m im Inventurgebiet treten beträchtliche Maßstabsunterschiede zwischen den Stichprobenpunkten auf. Auf Grund dieser Tatsachen ist mit einem erheblichen Meßaufwand zu rechnen, der Höhenfehler dürfte sich in der Größenordnung einiger Meter bewegen (Akça, Hildebrandt, Reichert 1971).

Abgesehen von den Meßproblemen stellte Stellingwerf (1973) keine signifikante Verbesserung der Korrelation zwischen Luftbildvariablen und Bestandesvorrat fest durch Einbeziehen der Baumhöhe. Auch Kölbl (1978b) ist der Ansicht, daß vor allem in älteren Beständen die Baumhöhe keine befriedigenden Schlüsse auf den Vorrat zuläßt. Deshalb wurde der Parameter nicht berücksichtigt.

KRONENDURCHMESSER

Hildebrandt (1966) fand eine für praktische Anforderungen hinreichende Korrelation zwischen Kronen- und Brusthöhendurchmesser bei Buche. Auch bei Fichte ergaben einzelbaumweise Vergleiche von $d_{1,3}$ und Kronendurchmesser einen Korrelationskoeffizienten von 0,8 (Weingart 1978).

Beim Maßstab von 1 : 50 000 hat aber selbst eine ausgewachsene Fichtenkrone nur einen Durchmesser von 1/10 mm. Eine numerische Erfassung schied hier wegen Meßproblemen aus.

Der Kronendurchmesser ging aber indirekt in die Interpretation ein bei der Schätzung des Bestandesalters. Diese Variable beeinflusst hier wesentlich die Ausprägung des Texturbildes.

STAMMZAHL

Die auf den Luftbildern ermittelte Stammzahl erlaubt recht präzise Rückschlüsse auf den Bestandesvorrat (Tandon 1974). Zur Ermittlung der Stammzahl pro ha müssen aber feste Probeflächen verwendet werden, die je nach Reliefverhältnissen und Maßstabschwankungen zu modifizieren sind. Das wäre zwar theoretisch möglich, verursacht jedoch einen erheblichen Aufwand. Eine EDV-gestützte Kartierung dieser Probeflächen, wobei Bildmaßstab und Hangneigung berücksichtigt werden, wäre hier angebracht. In der vorliegenden Arbeit wurde aber darauf verzichtet, auch weil der erfaßte Parameter Kronenprozent weitgehend mit der Stammzahl korreliert ist.

Neben Luftbildparametern für den Bestandesvorrat sollten bei der Interpretation auch andere Merkmale berücksichtigt werden. So wären einige betriebstechnische Parameter von großem Interesse wie die Größe der Wirtschaftsfläche, in die der jeweilige Stichprobenpunkt fällt, die Rückeentfernung zur nächsten Waldstraße, die Hangneigung sowie ertragskundliche und ökologische Kriterien.

Aus der Fülle möglicher Beispiele sei hier die Rückeentfernung zur nächsten LKW-befahrbaren Waldstraße herausgegriffen.

RÜCKEENTFERNUNG ZUR NÄCHSTEN WALDSTRASSE

"Die bei der Inventur erhobenen Daten über den aufstockenden Holzvorrat und seine Zusammensetzung gewinnen ganz erheblich an Aussagekraft, wenn sie mit Informationen verbunden werden können, die das Gelände und die Transportverhältnisse charakterisieren" (Zöhrer 1977).

Deswegen wurde für jeden Luftbildpunkt die Rückedistanz zur nächsten LKW-befahrbaren Waldstraße gemessen. Soweit möglich berücksichtigte man dabei Reliefverhältnisse, vorhandene Rückewege und Schneisen. Auf der forstlichen Planungskarte und der topographischen Karte 1 : 25 000 waren die neuen Waldwege vielfach noch nicht eingezeichnet. Das Luftbild bot hier die Möglichkeit, wirklich den aktuellen Stand zu erfassen.

Im Hinblick auf eine operationelle Anwendung konzentrierte sich die Luftbildinterpretation auf wenige aussagekräftige, leicht und sicher aufzunehmende Merkmale. Auftretende Grenzfälle, Fehlklassifikationen und subjektive Entscheidungen sollten dadurch reduziert werden. Auch ist es für eine erfolgreiche zuverlässige Luftbilddauswertung für den Interpreten unerlässlich, sich in das jeweilige Bildmaterial einzuarbeiten, ausreichende terrestrische Kontrollen durchzuführen und einen auf die gegebenen Verhältnisse individuell abgestimmten Interpretationsschlüssel zu finden (u.a. Hildebrandt 1979). Verschiedene Interpreten müssen außerdem gemeinsame Auswertekriterien erarbeiten, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen.

Manches unbefriedigende Resultat bei der Auswertung von Luftbildern kommt daher, daß keine oder zu wenige Bodenkontrollen durchgeführt werden und die Auswerter mit unzuverlässigen, nicht auf objektiven Beobachtungen basierenden Interpretationsschlüssel arbeiten.

Die Korrelationskoeffizienten um 0,9 zwischen Luftbildvariablen und Bestandesvorrat bzw. Zuwachs in Kap. 6 zeigen andererseits, daß geübte Auswerter bei sorgfältigen terrestrischen Vergleichen auch mit einfachen visuellen Mitteln den Informationsansprüchen der forstlichen Praxis gerecht werden können.

Die hier gewählten Luftbildvariablen sind als Beispiel zu verstehen. Für das mehrphasige System ist es unerheblich, welche Hilfsvariablen und Auswertemethoden für die Regressionsgleichungen verwendet werden. Das Verfahren ist offen für neue Variablen und Interpretationen.

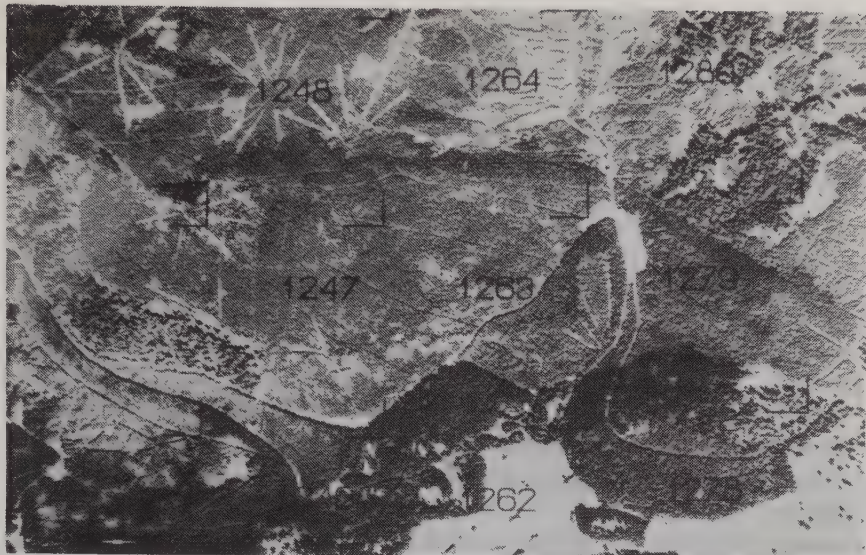


Abbildung 9: Ausschnittvergrößerung der Luftbilder 1 : 50 000

5.3 INTERPRETATION TOPOGRAPHISCHER UND THEMATISCHER KARTEN

Topographische Karte 1 : 25 000

Zur Herstellung des orthogonalen Punktegitters (vgl. 5.2.1) wurden die Gauss-Krüger-Koordinaten sowie die Geländehöhe aus der topographischen Karte abgegriffen. Als wichtige Geländeparameter für die Holzernte und zur Charakterisierung des Standortes ermittelte man außerdem an Hand der Karte für jeden Stichprobenpunkt Hangneigung und Exposition. Es wurden analog zum üblichen Vorgehen bei der forstlichen Standortsbeschreibung (Speidel 1972) 6 Neigungsklassen ausgeschieden:

0 - 5 Grad	eben, schwach geneigt
6 - 10 Grad	mäßig geneigt
11 - 20 Grad	stark geneigt
21 - 30 Grad	steil
31 - 45 Grad	schroff
> 45 Grad	sehr schroff

Bei der Exposition wurde differenziert zwischen

eben

Sommerhänge (Südost, Süd, Südwest, West)

Winterhänge (Nordwest, Nord, Nordost, Ost).

Forstliche Planungskarte 1 : 25 000

Aus dieser Karte der Forstdirektion Freiburg ließen sich Angaben über die Besitzverhältnisse am jeweiligen Stichprobenpunkt entnehmen.

Waldfunktionenkarte 1 : 50 000 des MELU Baden-Württembergs

Entsprechend der Waldfunktionenkartierung in Baden-Württemberg wurden für jeden Stichprobenpunkt folgende Sonderfunktionen vermerkt:

Wasserschutz	Sichtschutz
Bodenschutz	Bannwald
Lawinenschutz	Schonwald
Klimaschutz	Erholungswald Stufe 1
Immissionsschutz	

Einmal lassen sich daraus Flächenwerte bestimmter Sonderfunktionen für den Inventurraum herleiten. Zum anderen konkurriert ja jede Sonderfunktion mit der Produktionsfunktion des Waldes. Durch Aufnahme entsprechender Informationen in den Datensatz jedes Punktes läßt sich z.B. feststellen, welche Holzvorräte nicht oder nur begrenzt nutzbar sind (Bannwälder, Sicht- und Immissionsschutzwälder, Lawinenschutzwälder) oder wo größere Kahlhiebe ausscheiden (Wasserschutz-, Bodenschutz- und intensiv genutzter Erholungswald).

Jeder interpretierte Stichprobenpunkt erhält also durch Luftbild- und Kartenauswertung (Kap. 5.2 und 5.3) folgenden Datensatz, der codiert und abgelocht wurde:

Punktnummer
Geländekoordinaten
Geländehöhe
Besitzart
Waldfunktion

Rückeentfernung zur nächsten Waldstraße
Hangneigung
Exposition
natürliche Altersklasse
Kronenprozent Fichte (einschließlich sonstige selten vorkommende Nadelhölzer)
Kronenprozent Tanne
Kronenprozent Laubholz

5.4 TERRESTRISCHE MESSUNGEN

Im Anschluß an die Interpretation der Satellitenaufzeichnungen und der Luftbilder wurden als 3. Inventurphase stichprobenhaft einige terrestrische Messungen durchgeführt.

Die Anzahl der nötigen Bodenstichproben ließ sich nach vorläufigen Schätzungen von Kostenverhältnis und Korrelation zwischen Luftbildmessungen und terrestrischen Messungen eines Stichprobenpunktes kalkulieren (Loetsch und Haller 1964). Im vorliegenden Fall wurden 320 Bodenstichproben aufgenommen. Eine schnelle Abschätzung der optimalen Anzahl von Luftbild- und Bodenstichproben zum Einhalten eines Repräsentationsfehlers von 5 % bei ökonomisch günstigstem Mitteleinsatz ermöglicht Abb. 23.

Zur Reduktion der Fahrtkosten empfiehlt es sich, die terrestrischen Messungen auf walddreiche Gebiete zu konzentrieren. Dazu wurden die beflogenen 8 km-Streifen auf den Luftbildern in 4 x 4 km-Quadrate unterteilt, ein solches Cluster enthielt im Normalfall 64 Stichprobenpunkte. Für jedes der insgesamt 27 Quadrate wurde die Anzahl der Luftbildpunkte bestimmt, die auf Waldflächen fielen. Mit der Auswahlwahrscheinlichkeit proportional zu ihrer Waldfläche (pps-Verfahren) wurden anschließend so viele Quadrate ausgelost, bis die geforderten 320 Waldstichproben beisammen waren. Die Bodenmessungen verteilten sich auf 11 zufällig ausgewählte der insgesamt 27 Cluster. Dabei brachte die Konzentration der terrestrischen Proben auf walddreiche Cluster eine merkliche Einsparung an Zeitaufwand und Fahrtkosten zum Aufsuchen der einzelnen Stichproben mit sich. Eine zusätzliche Fehlerkomponente durch Clusterbildung war im vorliegenden Fall zu vernachlässigen, da im Inventurgebiet relativ homo-

gene Bestockungsverhältnisse vorlagen, die Aufnahmeintensität hoch war und sich die Cluster gleichmäßig über die Flugstreifen verteilten.

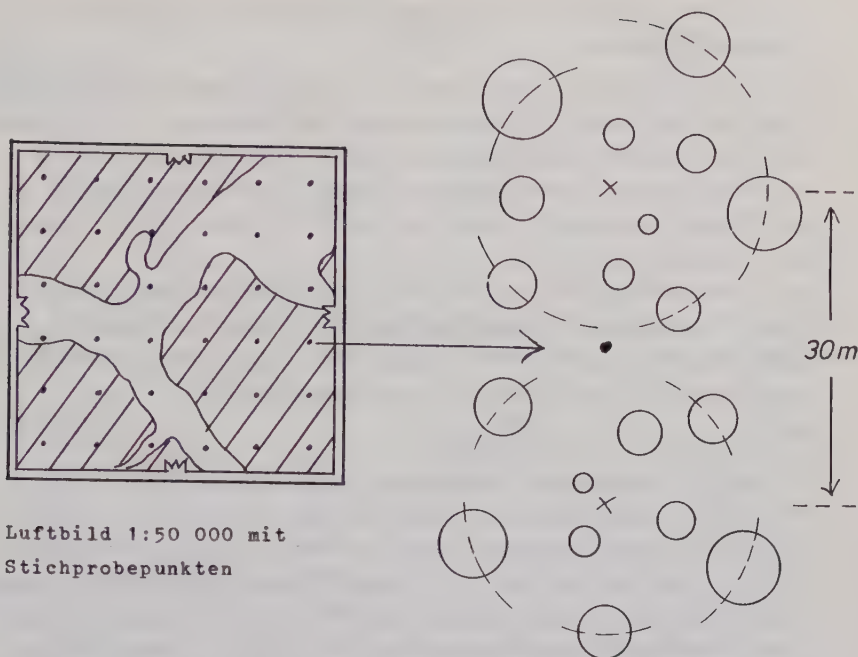
Alle Stichprobenpunkte der ausgewählten Quadrate, die auf Forstflächen und baumbestandene Brachflächen fielen, wurden mit Hilfe der topographischen Karte 1 : 25 000 und der Luftbilder im Gelände aufgesucht und vermessen.

Die Luftbilder steckten während der terrestrischen Messungen in einem transparenten Bildhalter und konnten gegen das Himmelslicht mit einer 10-fachen Lupe mit Mikrometerskala betrachtet werden. Auf Grund der Entfernung von markanten Geländepunkten (Wegkreuzungen, Brücken, gut zu identifizierenden Bäumen, Schneisen, Hütten) und dem entsprechenden Winkel ließen sich die Stichprobenpunkte mit Kompaß und Maßband einmessen. Die Lokalisierung wurde am Luftbild überprüft. Für die praktische Durchführung empfehlen sich eventuell Papiervergrößerungen der Luftbilder im Maßstab 1 : 5 000 zur Lokalisierung der Stichproben (Kölbl 1978b).

Vom lokalisierten Stichprobenmittelpunkt aus wurden 2 Fluchtstäbe 15 m nach Nord und nach Süd ausgesteckt. Sie bildeten die Zentren für 2 Bitterlichproben mit der Zählbreite 4. Die Anlage einer Bodenstichprobe zeigt Abb. 10.

Diese Gruppenstichprobe aus 2 Relaskop-Messungen entspricht dem Vorgehen bei der nordfinnischen Inventur (Poso 1972, 1978). Poso benutzte erst nur eine Bitterlich-Stichprobe pro Bodenpunkt. Es zeigte sich aber, daß bei der dortigen Lokalisierungsgenauigkeit von ± 5 m dem Bodentrupp noch so viel subjektiver Spielraum blieb (bevorzugen dichter Bestandesteile), daß der systematische Fehler relativ hoch war. Durch das Einmessen der Mittelpunkte 15 m vom eigentlichen Zentrum entfernt wird dieser Fehler vermieden. Außerdem wird durch das Verwenden zweier Bitterlichproben mit Zählbreite 4 statt einer mit Zählbreite 2 der Stichprobenfehler gesenkt (Prodan 1965). Das Aufnehmen noch einer dritten Relaskop-Probe erwies sich als ineffektiv (Poso 1978).

Zöhrer (1977) schreibt über die Verwendung von Bitterlich-Proben: "Die Winkelzählprobe nach Bitterlich ist dem Probeflächen-



Luftbild 1:50 000 mit
Stichprobepunkten

Abbildung 10: Anlage einer Bodenstichprobe aus 2 Relaskop-
Messungen je Probezentrum

verfahren meist überlegen, weil die Probeflächen proportional zu ihrer Grundfläche ausgewählt werden und somit größere und volumenreichere Bäume bevorzugt werden.

Als weitere Vorzüge können angeführt werden:

- Es muß keine Probeflächengrenze abgesteckt werden
- im geeigneten Gelände erfolgt bei Verwendung des Spiegelrelaskopes automatische Hangreduktion
- die Grundfläche ergibt sich durch bloßes Zählen der erfaßten Bäume
- das Verfahren kann sowohl für exakte Stichprobeninventuren als

auch für überschlägige Bestandesinventuren als Schätzhilfe verwendet werden".

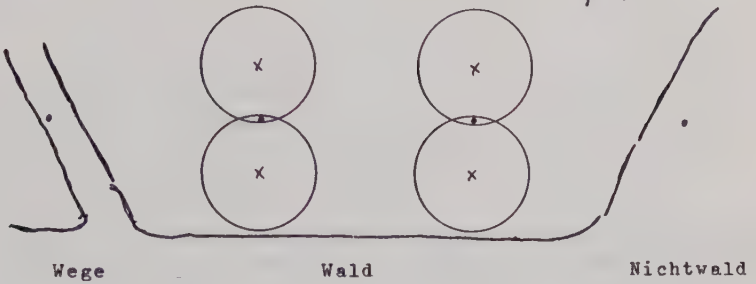
In der vorliegenden Arbeit wurde die Winkelzählprobe hauptsächlich deshalb gewählt, um das aufwendige Abstecken einer festen Probefläche bei stark bewegtem Relief zu vermeiden. Werden in der Praxis nicht genau mit den Luftbildflächen identische Bodenflächen abgesteckt, kann ein ziemlich hoher Fehler entstehen (Stellingwerf 1973).

Die Winkelzählprobe ist auch methodisch das entsprechende Verfahren zur nicht flächengebundenen Luftbildinterpretation. Luftbild- und Bodenflächen müssen sich natürlich entsprechen, ohne daß aber exakte Grenzen auszuscheiden sind.

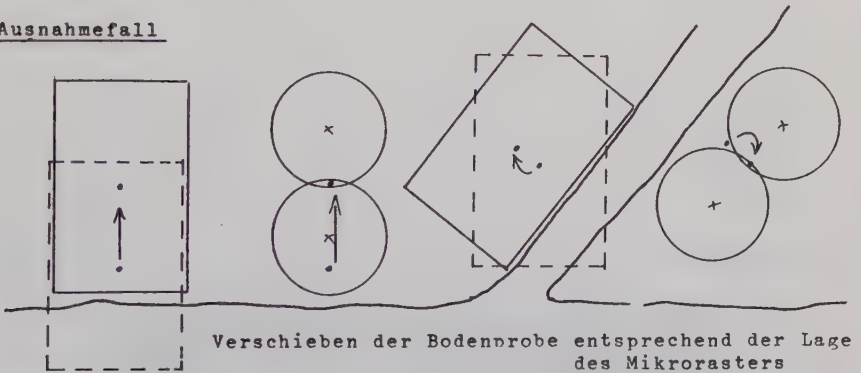
Das Meßverfahren im einzelnen:

Für das Aufsuchen oder Ignorieren einer Bodenprobe war allein die Lage des Mittelpunktes entscheidend. Lag er im Bestand, wurde die Probe gemessen, lag er außerhalb, dann nicht. Bei einigen Punkten, die nahe am Bestandesrand lagen und bei denen das Mikroraster zur Bestimmung des Kronenschlusses etwas nach innen verschoben worden ist (siehe Kap. 5.2.2), verfuhr man entsprechend Abb. 11. Die in der Literatur manchmal vorgeschlagene Methode der Spiegelung von nur teilweise im Bestand liegenden Probeflächen oder nur die Aufnahme dieser Zonen dürfte aber für ein operationelles Verfahren zu kompliziert sein.

Normalfall



Ausnahmefall



nicht praktizierte Möglichkeiten

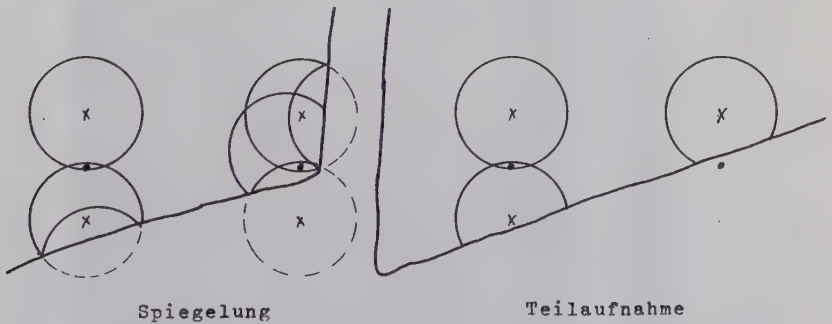


Abbildung 11: Lokalisation der Bodenstichproben in Normal- und Ausnahmefällen

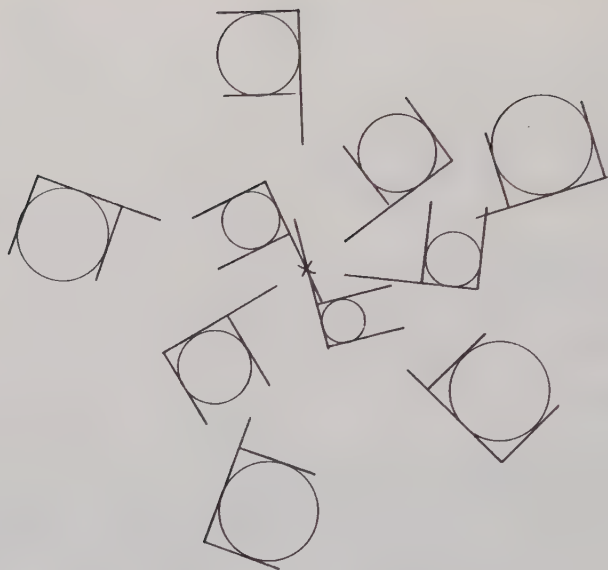


Abbildung 12: Durchmesserklappung in Richtung des Zentrums der Winkelzählprobe (nach Prodan 1965)



Abbildung 13: Meßarbeiten in den oft steilen Hängen des Schwarzwaldes

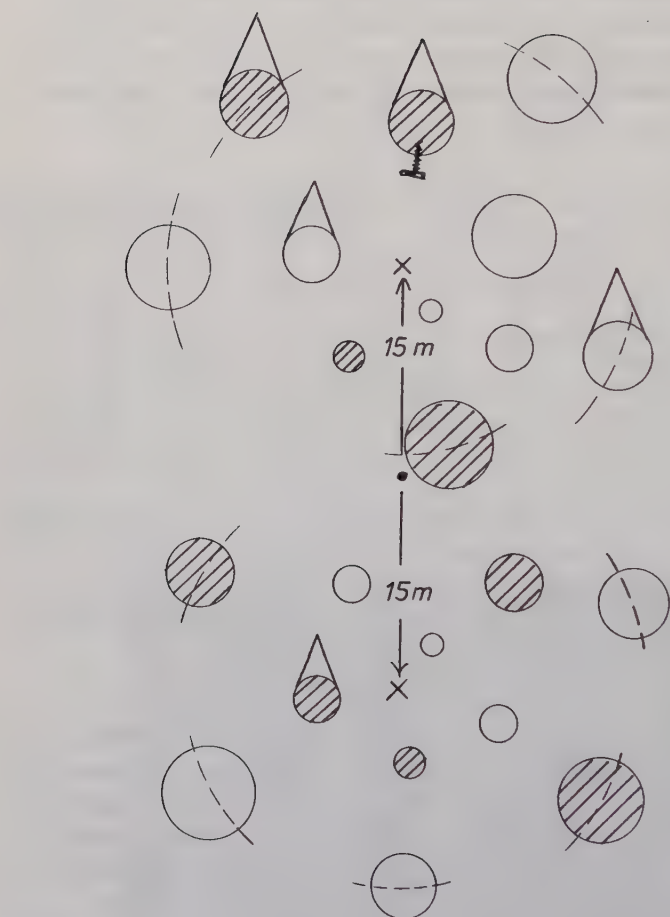
Bei den Winkelzählproben wurde jeder Baum gekluppt, der breiter erschien als die Meßstreifen der Zählbreite 4 des Spiegelrelaskopes. In Zweifelsfällen erfolgte eine Kontrolle mit dem Maßband. Entsprechend dem Vorschlag Prodans (1965) wurde jeder Baum in Richtung des Stichprobemittelpunktes gekluppt (siehe Abb. 12 und 13) und holzartenweise in 2 cm Stufen aufgelistet. Für beide Winkelzählproben einer Gruppe wurde eine gemeinsame Kluppliste angelegt (siehe Abb. 14).

Durchmesserstufe	Stammzahl je Strich	Fi	Ta	Sonst. NB	Bu	Es, Ah UL	Sonst. LB	Radialzuwachs Fi 10	Mittelhöhe	Schäl-schäden Fi
8	400	///			/				Bu 8,5m	/
10	253	///			/			37 mm	Bu 8,5m Fi 10,5m	//
12	177	///							Fi 11m	
14	130	//								
16	100	/								
18	79									

↓

Abbildung 14: Kluppliste für die Vorrats- und Zuwachsaufnahme der Bodenmessungen

Aus dieser Kluppliste ließ sich stufenweise die Stammzahl entnehmen und damit näherungsweise der Kreisflächenmittelstamm jeder Holzart bei 60 % der Stammzahl bestimmen. An den nächstgelegenen Bäumen im Durchmesserbereich des Kreisflächenmittelstamms wurden je Holzart 2 - 3 Höhen mit Blume-Leiss gemessen. Die Ermittlung der Vorräte erfolgte über Formhöhentarife. Beispielhaft für Fichte wurde außerdem bei der letzten der beiden Relaskopmessungen ein Bohrspan entnommen. In Anlehnung an Hildebrandt (1967) und in Hinblick auf die lgz-Berechnung mit Massenzuwachsprozenten bohrte man dafür im Bereich des Grundflächenmittelstammes den nächstgelegenen Stamm zum Stichprobezentrum hin an. Die Länge der letzten 10 Jahresringe wurde gemessen und in die Kluppliste eingetragen. Die Bohrlöcher wurden zur Vermeidung von Holzschäden sofort mit Baumharz verschlossen.



-   baumartenweise Kluppen
 Höhenmessungen im Bereich des Mittelstammes
 Zuwachsbohrung an Fichte

Abbildung 15: Vorrats- und Zuwachsmessungen bei den Winkelzählproben

Die Möglichkeit, Stammschäden sowie weitere negative oder positive Qualitätsmerkmale (Schaftform, Höhe des Kronenansatzes, Rotfäule usw.) zu erfassen, sollte am Beispiel des Schälsschadens durch Rotwild demonstriert werden. In Stangenhölzern und geringen Baumhölzern im Rotwildgebiet Südschwarzwald wurden deshalb Schälsschäden in der Kluppliste vermerkt. Dabei differenzierte man allerdings nicht zwischen Schädigungsgraden oder dem Zeitpunkt der Entstehung. Im Rahmen dieser Arbeit sollte nicht auf die Problematik der Entstehung, Auswirkung und Bewertung von Schälsschäden eingegangen werden. Dazu wird auf die Literatur von Roeder (1970), Speidel (1975a, 1975b) und Gehrke (1980) verwiesen. Es soll hier lediglich demonstriert werden, daß auch Schälsschäden und andere Qualitätsmerkmale des Schaftes im Rahmen dieser Inventur erfaßt werden können.

Im Anschluß an die Messungen wurde der Prozentsatz geschälter Stämme im Haupt- und im Nebenbestand ermittelt. Als Grenze dafür diente die Durchmesserklasse des Grundflächenmittelstammes.

Aus den Daten der terrestrischen Messungen wurde für jeden Bodenpunkt die hektar-bezogenen Vorrats- und Zuwachswerte berechnet. Die Vorratsfestmeter ließen sich holzartenweise nach Mittelhöhe und Mitteldurchmesser aus den Bestandesformhöhentarifen ableiten (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 1966). Der exakte Durchmesser des Grundflächenmittelstammes wurde dazu aus Grundfläche und Stammzahl berechnet.

Ungleichaltrige Bestände wurden in 2 - 3 homogene Straten zerlegt (Prodan 1965). Die Grundfläche pro Hektar konnte für jede Holzart direkt der Kluppliste entnommen werden, wobei jeder Stamm 2 m^2 repräsentierte (2 Winkelzählproben mit Zählbreite 4).

Der laufende Zuwachs für Fichte ließ sich über das jährliche Massenzuwachsprozent mit Hilfe von Bohrspänen bestimmen (Prodan 1965). Dabei wurden die entsprechenden Werte den Hilfstabellen der Forstverwaltung Baden-Württemberg entnommen, die Mitteldurchmesser wurden auf 2cm-Stufen interpoliert, die jährlichen Durchmesserzuwüchse auf $1/10 \text{ mm}$. Um auch Aufschlüsse über das Ertragsniveau zu erhalten, wurde die Gesamtwuchsleistung für Fichte in Anlehnung an die Magin'schen Wuchsreihen (Magin 1963) berechnet. Dazu waren Angaben über Altersklasse, Stammzahl,

Durchmesser und Höhe des Mittelstammes sowie den Vorrat nötig. Zur Charakterisierung des Pflegezustandes von Beständen wurde als Beispiel die tatsächliche Stammzahl mit der für die entsprechende Oberhöhe empfohlene Stammzahl der FVA Baden-Württemberg (1968, 1972) verglichen. Im Rahmen dieser Arbeit sollte allerdings nicht in die laufende Diskussion über das Für und Wider einer Stammzahlleitkurve eingegriffen werden. Auch wurden die von der FVA unter Leitung von Abetz angegebenen Zielbaumzahlen nicht als absolute Norm betrachtet. Es sollte hier lediglich aufgezeigt werden, daß das beschriebene Inventursystem auch die Möglichkeit zur Erfassung von Durchforstungsrückständen beinhaltet. Normen und Leitkurven sind natürlich modifizierbar.

Die Differenz zwischen tatsächlicher Stammzahl und der entsprechenden Zielbaumzahl von Leitkurve A (FVA Baden-Württemberg 1972) wurden in drei Prozentstufen angegeben:

tatsächliche	1 - 25 %	höher als die Zielbaumzahl
Stammzahl um	25 - 50 %	
	> 50 %	nach Leikurve A

Insgesamt wurden 320 Bodenpunkte vermessen und dabei etwa 6 600 Bäume gekloppt, 1 400 Höhen gemessen und 280 Bohrspäne entnommen. Jeder Bodenpunkt erhielt noch zusätzlich zu den Luftbild- und Karteninformationen (Kap. 5.3) folgende Angaben, die ebenfalls codiert und abgelocht wurden:

Stammzahl Fichte

Durchmesser des Grundflächenmittelstammes für Fichte

Höhe des Grundflächenmittelstammes für Fichte

Vorratsfestmeter / ha Fichte

Vorratsfestmeter / ha Tanne

Vorratsfestmeter / ha sonstige Nadelbäume

Vorratsfestmeter / ha Buche

Vorratsfestmeter / ha Esche, Ahorn, Ulme, Eiche und sLb

lGz Fichte / ha

Differenz zwischen tatsächlicher Stammzahl und Zielbaumzahl der Leitkurve A

Prozentsatz der Stämme mit Schälsschäden, aufgegliedert nach Haupt- und Nebenbestand

6. ELEKTRONISCHE DATENVERARBEITUNG, ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN DEN VARIABLEN

Sämtliche Ergebnisse der Luftbild- und Karteninterpretation sowie der Bodenmessungen wurden stichprobenweise abgelocht. Die Datenverarbeitung erfolgte im Rechenzentrum der Universität Freiburg an einer UNIVAC 1100/81. Als Programmsystem wurde SPSS gewählt. "SPSS ist ein integriertes System von Computerprogrammen zur statistischen Analyse sozialwissenschaftlicher Daten. Die besonderen Leistungen von SPSS liegen nicht allein im Umfang und der Art seiner statistischen Prozeduren, sondern in der Einheitlichkeit und der hohen Flexibilität des Systems, das durch eine quasi - natürliche Steuersprache gehandhabt wird. Eine leicht verständliche Fehlerdiagnostik ist eingeschlossen. Unter anderem ermöglicht SPSS eine Vielzahl von Datentransformationen, Datenselektionen und Dateimanipulationen und über eine ausführliche Dateibeschriftung die Erzeugung einer leicht lesbaren Druckausgabe. Zwischenergebnisse am Ende der einzelnen Phasen von Auswertungsvorhaben können auf verschiedenen Datenträgern gespeichert werden.

SPSS setzt keine Kenntnisse einer Programmiersprache voraus; es eröffnet vielmehr für den Bereich der statistischen Datenanalyse auch dem Anfänger Möglichkeiten, die normalerweise routinierten Programmierern vorbehalten sind. Damit wird der Forscher bei der Auswertung seiner Daten der häufig beobachteten, übermäßigen Abhängigkeit von EDV-Spezialisten enthoben und kann somit auch einen weiteren wichtigen Teilabschnitt seines Projekts, nämlich den der Auswertung, selbständig durchführen und kontrollieren." (Beutel e.a. 1978).

Zur Veranschaulichung des Zusammenhanges zwischen Hilfsvariablen und Zielvariablen diente die Statistik-Prozedur SCATTERGRAM (näheres siehe Nie e.a. 1975; Beutel e.a. 1978). Hier werden jeweils 2 Variablen in einer zweidimensionalen Graphik einander gegenübergestellt und auf Korrelation überprüft. Die Abb. 16-22 zeigen Beispiele der ausgedruckten Scattergramme, weitere Graphiken finden sich im Anhang.

Als abhängige Variablen wurden Vorratsfestmeter Fichte je ha, Vfm Tanne/ha, Vfm Laubholz/ha, Vfm Buche/ha und lgz Fichte gewählt, als unabhängige Variablen Kronenprozent Fichte, Kronenprozent Tanne, Kronenprozent Laubholz, Alter, Geländehöhe, Exposition und Hangneigung.

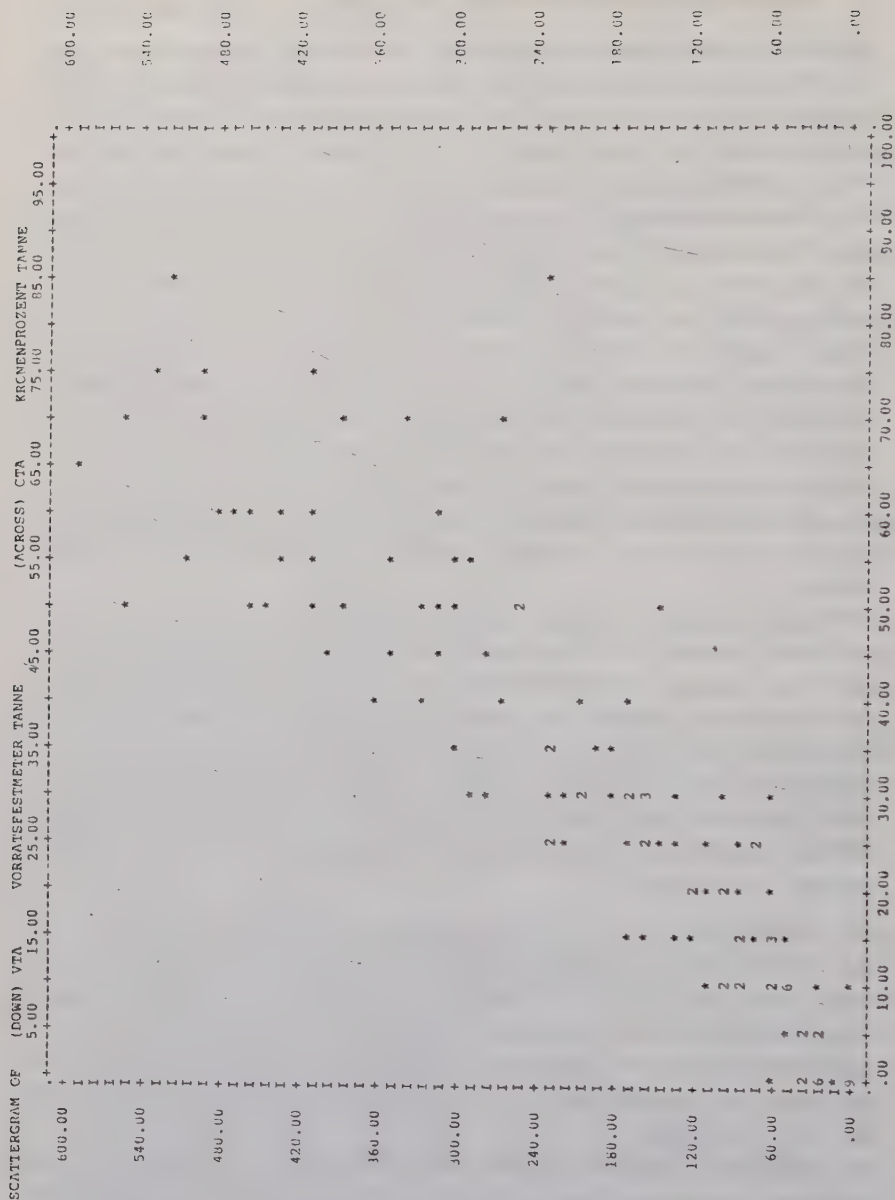


Abbildung 16: Scattergram zwischen Vorratsfestmeter/ha und Kroenenprozent bei Tanne

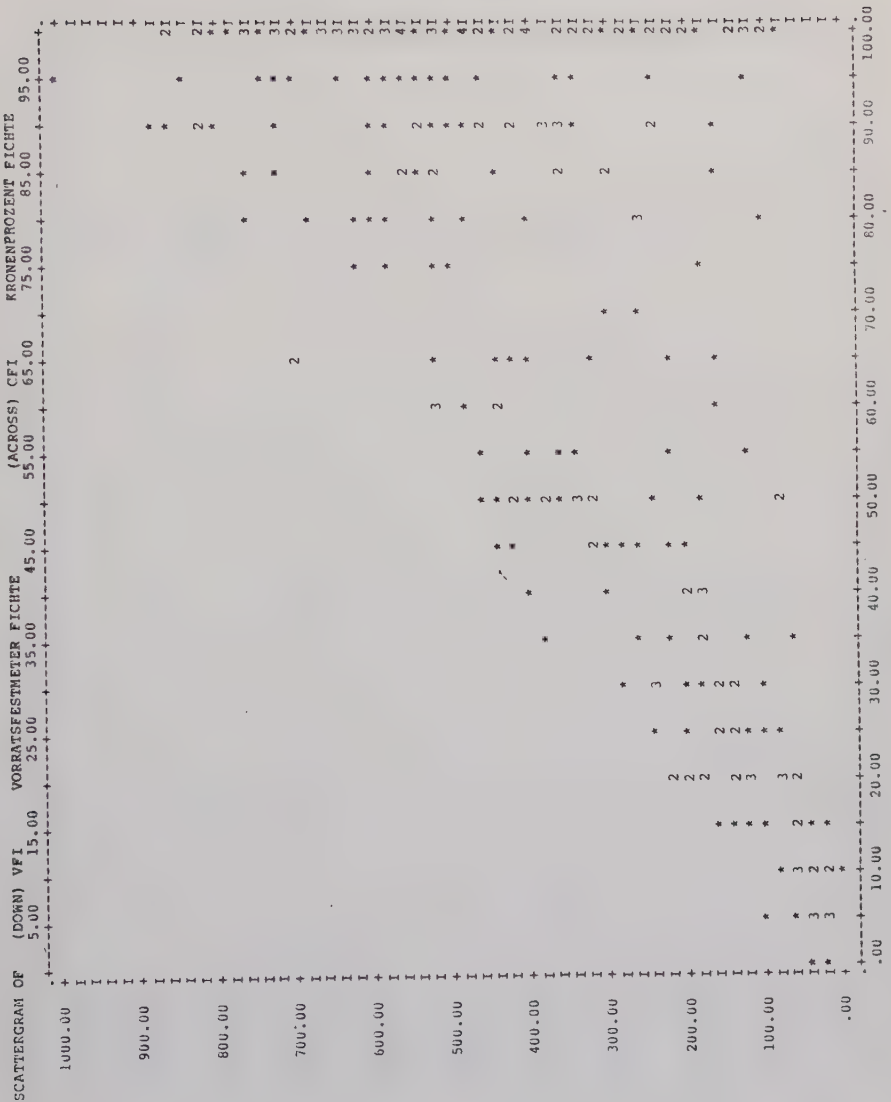
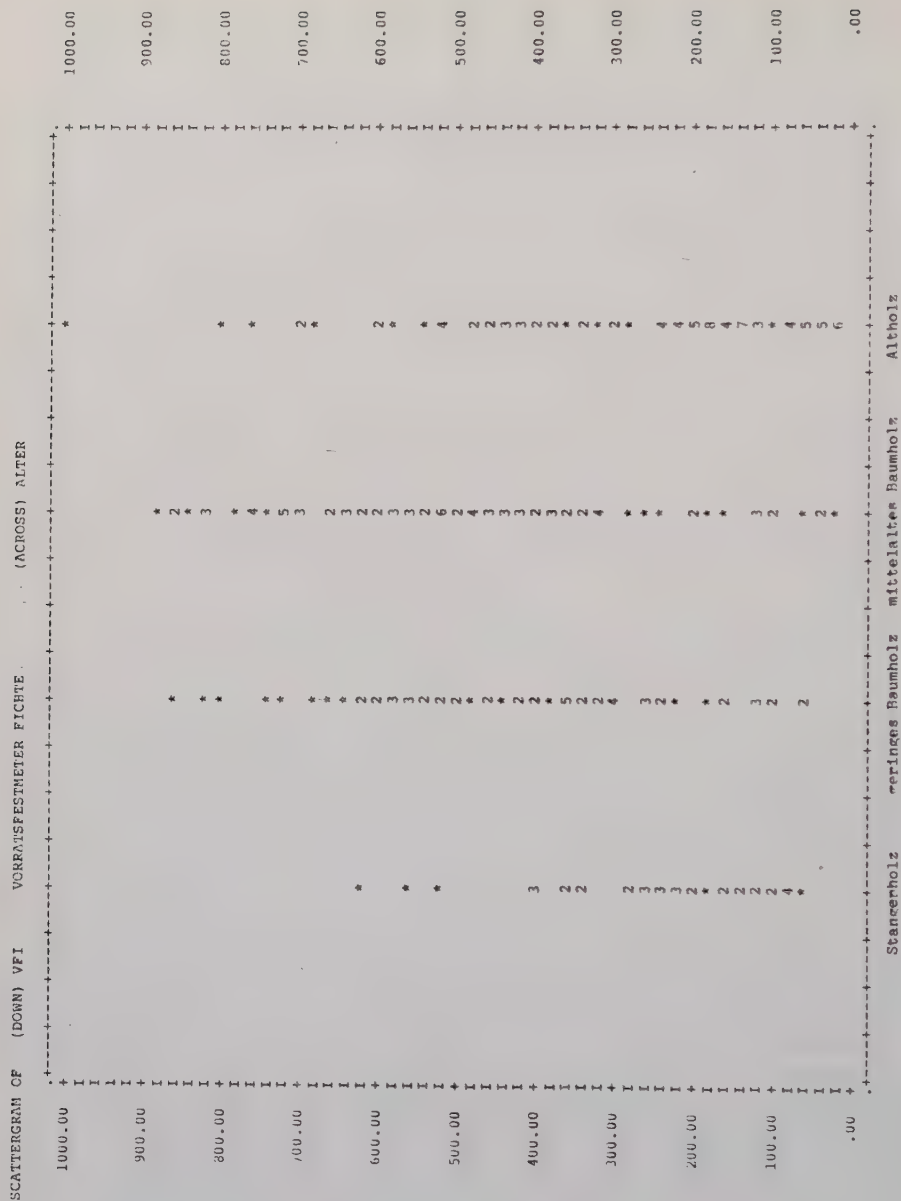


Abbildung 17: Scattergram zwischen Vorratsfestmeter/ha und Kronenprozent bei Fichte



Korrelation $r = -0,100$

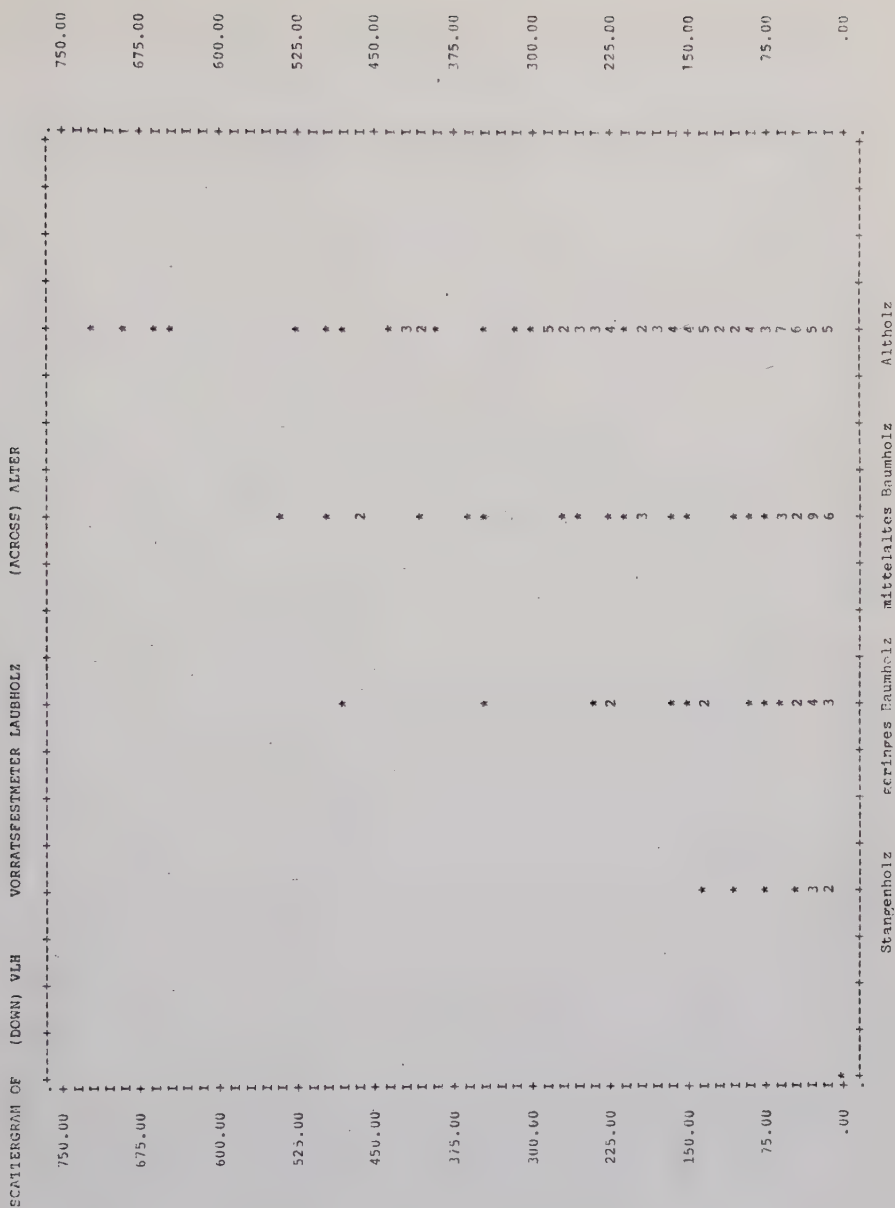


Abbildung 19: Scattergram zwischen Vorratsfestmeter/ha und nat. Altersklasse bei Laubholz

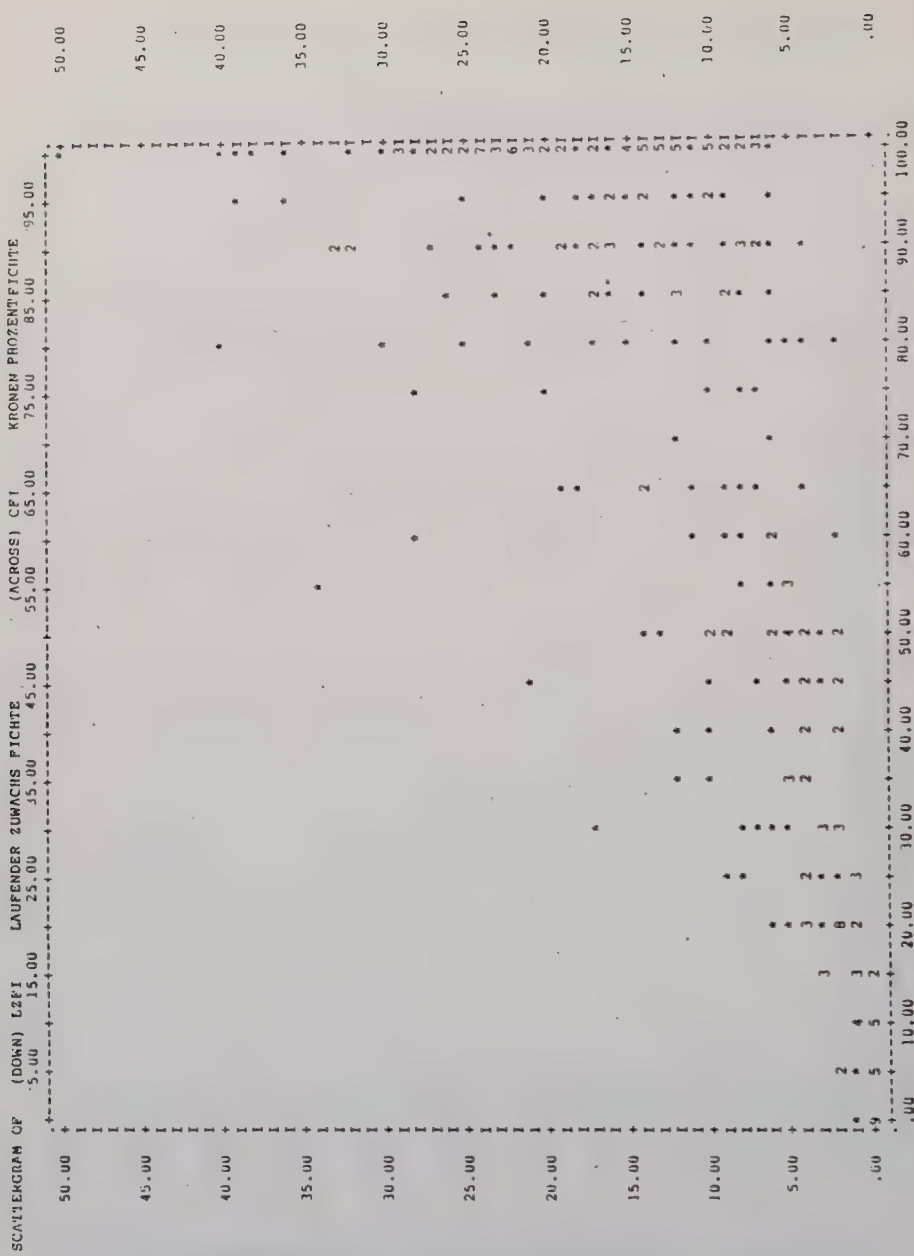


Abbildung 20: Scattergram zwischen laufendem Zuwachs und Kronenprozent bei Fichte

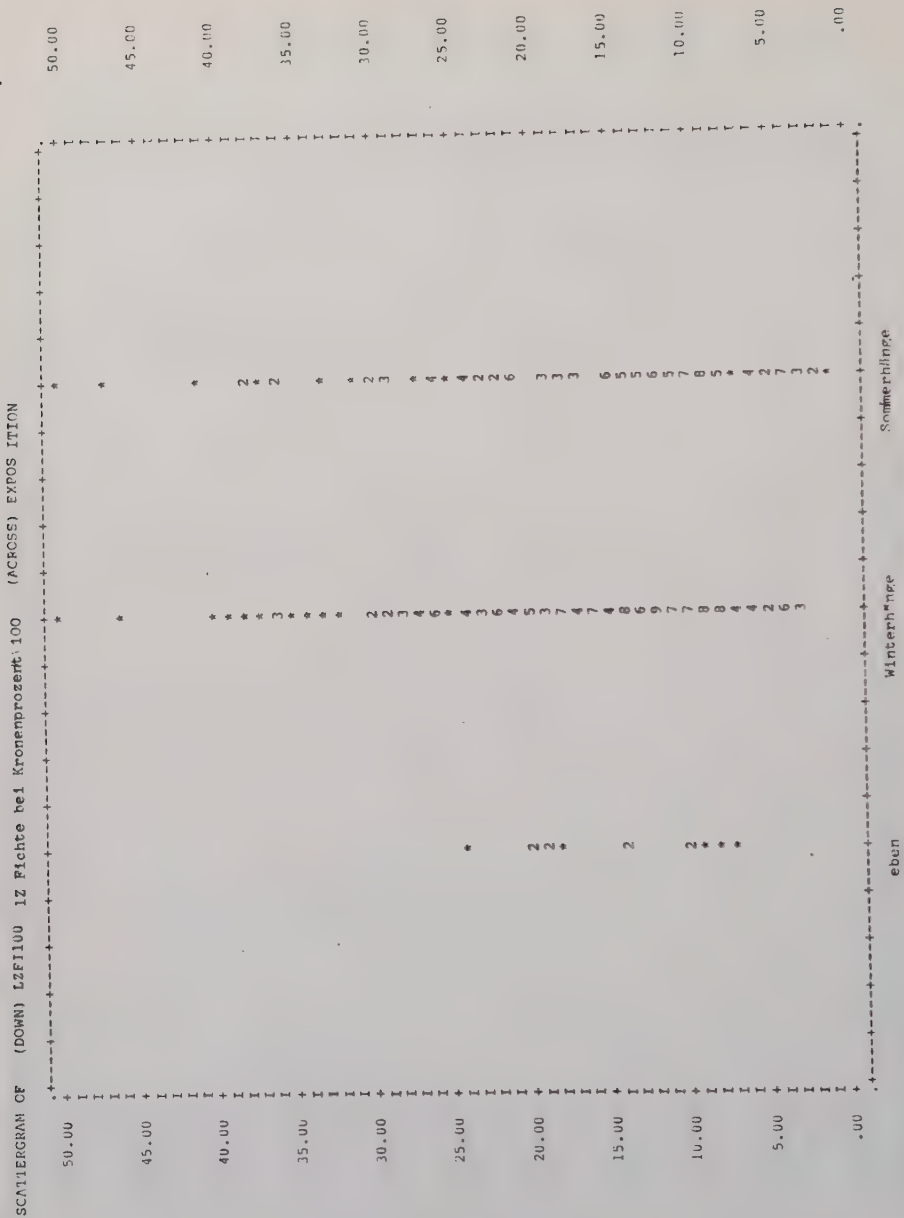


Abbildung 22: Scattergram zwischen laufendem Zuwachs (auf Kronenprozent 100 bezogen) und Exposition bei Fichte

Als aussagekräftigster Luftbildparameter zur Vorrats- und Zuwachsschätzung erwies sich das Kronenprozent C. Mit diesem Parameter allein ließen sich je nach Holzart 55 % bis 90 % der Varianz erklären. Die Korrelationskoeffizienten schwankten entsprechend zwischen 0,74 und 0,95. Diese Tatsache entspricht dem Ergebnis Stellingwerfs (1973), der ebenfalls das "crown cover" als geeignetsten Luftbildparameter für den Bestandesvorrat ermittelte. Eine Aufstellung der einfachen Korrelationskoeffizienten gibt Tab. 2. Die Korrelationen r bei multiplen Regressionsmodellen zwischen Vorrat bzw. Zuwachs und der Kombination mehrerer unabhängiger Variablen finden sich in Tab. 3

Tabelle 2: Korrelationsmatrix zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen

	C_{Fi}	C_{Ta}	C_{Lh}	Alter	Höhe NN	Neigung
Vfm/ha Fi	0,769			0,180	0,130	- 0,136
Vfm/ha Ta		0,948		0,476	-0,106	0,181
Vfm/ha Lh			0,854	0,357	-0,028	0,158
Vfm/ha Bu			0,783	0,335	0,043	
lgz Fi	0,743			-0,515	0,099	

Bei Fichte waren die Hektar-Vorräte am straffsten mit dem Kronenprozent C_{Fi} korreliert, $r = 0,769$. Das liegt nahe, denn dieser Parameter beschreibt das Vorkommen von Fichte überhaupt in einem Bestand und läßt Schlüsse auf den Bestockungsgrad zu. Der Fichtenvorrat je Hektar hängt außer vom Kronenprozent natürlich noch vom Alter eines Bestandes ab. Durch Kombination der Parameter Kronenprozent C_{Fi} und natürlicher Altersklasse ließ sich durch eine multiple Regression der Korrelationskoeffizient von $R = 0,769$ bei einfacher Regression zwischen Fichtenvorrat/ha und C_{Fi} auf $r = 0,881$ steigern (Tab. 3).

Der Parameter Alter allein ließ keine befriedigenden Schlüsse auf

den Vorrat/ha bei Fichte zu. Der Grund ist darin zu sehen, daß der Mischungsanteil von Fichte in den Althölzern wesentlich unter dem bei jungen Beständen liegt. So beträgt der mittlere Vorrat von Fichte in geringen Baumhölzern 370 Vfm/ha, in mittelalten Baumhölzern 452 Vfm/ha und in Althölzern 272 Vfm/ha (Kap. 7.1.10). Rein rechnerisch wird der Einfluß des Bestandesalters auf den Fichtenvorrat je ha verdeckt durch die wechselnde Baumartenstruktur in den meist laubholz- und tannenreichen Altbeständen und den fichtenreicheren Stangen- und Baumhölzern. Eine Kombination der Parameter Kronenprozent und Alter erscheint deshalb sinnvoll.

Der überraschend hohe Korrelationskoeffizient von 0,948 zwischen den Vorräten/ha und dem Kronenprozent bei Tanne rührte einmal daher, daß die Tanne hauptsächlich in Altbeständen vorkam und deshalb die altersbedingte Varianz der Vorräte gering war. Der Kronenschluß war daher fast allein ausschlaggebend für die Höhe der Vorräte. Zum anderen bestätigte sich, daß auch auf den kleinmaßstäblichen Luftbildern 1 : 50 000 eine korrekte Ansprache von Tanne möglich ist.

Rechnerisch gesehen hat bei Tanne das Alter einen größeren Einfluß auf den Vorrat/ha dieser Baumart in den verschiedenen Beständen als bei Fichte. Die Korrelation ist mit $r = 0,476$ etwas straffer als bei Fichte. Das rührt aber auch daher, daß der Tannenanteil in den Althölzern gegenüber den jüngeren Beständen stark zunimmt (Kap. 7.1.10).

Bei Laubholz war die Korrelation zwischen Vfm/ha und Kronenprozent_{Lh} mit $r = 0,854$ ebenfalls recht straff. Die Bestände konzentrierten sich wie bei Tanne meist auf die höheren Altersklassen, dadurch spielte die altersbedingte Varianz keine entscheidende Rolle. Auch die Vorräte für Buche allein ließen sich über das Kronenprozent für Laubholz mit für praktische Zwecke ausreichender Genauigkeit schätzen, $r = 0,783$.

Erfreulich ist, daß mit dem Luftbildparameter Kronenprozent Fichte auch Aussagen über den laufenden Zuwachs dieser Baumart möglich waren, der Koeffizient r betrug 0,743. Allerdings überrascht ein solcher Zusammenhang auch nicht, da das Kronenprozent seinerseits eng mit dem Bestockungsgrad korreliert ist.

Der 12 Fichte war von allen genannten abhängigen Variablen am straffsten mit dem Alter korreliert, $r = -0,515$. Wie erwartet nahm der Zuwachs mit steigendem Alter ab.

Die Auswirkungen von Geländehöhe, Hangneigung und Exposition waren nicht auf den ersten Blick zu erkennen, wie Abb. 22, Tab. 2 und die Abb. 9-16 des Anhangs zeigen. Durch Varianzanalyse ONEWAY wurden deshalb die Einflüsse dieser Parameter auf Signifikanz überprüft. Um dabei wechselnde Mischungs- und Überschirmungsverhältnisse als Störfaktoren auszuschalten, wurden die Vorräte und der Zuwachs auf Kronenprozent 100 der jeweiligen Holzart bezogen.

Ein Einfluß der genannten Parameter auf die Vorräte ließ sich statistisch nicht absichern. Er wurde bei weitem überlagert von den wechselnden Mischungsanteilen und Altersstufen der jeweiligen Holzarten. Da deshalb von den Geländevariablen kein wesentlicher Beitrag zur Reduktion der Varianz erwartet werden konnte, wurden sie bei der Aufstellung der Regressionsmodelle nicht berücksichtigt.

Auch Zuwachsunterschiede zwischen Sommer- und Winterhängen sowie bei unterschiedlichen Hangneigungen konnten statistisch nicht gesichert werden. Erwartungsgemäß lagen die Zuwachswerte auf den feuchteren Nordhängen etwas höher als auf den Südhängen, die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Lediglich die Geländehöhe besaß einen statistisch gesicherten Einfluß auf den Bestandeszuwachs. Die Zuwachswerte streuten zwar sehr stark über den gesamten Höhenbereich, es ließ sich aber eine Ausgleichskurve 2. Grades erkennen (siehe Abb. 12 im Anhang).

Im Anschluß an die Interpretation der Scattergramme wurde mit der Prozedur REGRESSION die nötigen Rechenoperationen durchgeführt. Diese SPSS-Prozedur ist speziell dafür geeignet, "Zusammenhangsstrukturen aus komplexen multivariaten Beziehungen aufzufinden" (Beutel e.a. 1978). Sie bietet die Möglichkeit, unabhängige Variablen schrittweise in die Regression aufzunehmen. Diejenige Variable wird zuerst aufgenommen, die den größten Varianzanteil der abhängigen Variablen erklärt, die anderen in der Reihenfolge der Größe ihres Beitrages zur Varianzaufklärung (Beutel e.a. 1978). Dadurch ist es möglich, sämtliche relevant erscheinende Variablen und Variablenkombinationen in die Gleichung

chung einzugeben, die besten werden ausgewählt.

Folgende Parameter wurden auf ihren signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung geprüft, aufgegliedert nach Holzarten: Kronenprozent C, C^2 , C^3 , $\sqrt{C}$, Alter, Alter^2 , Alter^3 , $C \times \text{Alter}$, $C \times \text{Alter}^2$, $C \times \text{Alter}^3$, $C^2 \times \text{Alter}$, $C^2 \times \text{Alter}^2$, $C^2 \times \text{Alter}^3$, $C^3 \times \text{Alter}$, $C^3 \times \text{Alter}^2$, $C^3 \times \text{Alter}^3$, C/Alter , außerdem zur Schätzung des lZ Fichte noch ein parabolischer Ausgleich über die Geländehöhe. Den Scattergrammen nach zu urteilen schienen die Regressionskurven nichtlinearen Charakter zu haben, deshalb wurden bei der multiplen Regression auch Funktionen 2. und 3. Grades getestet. Die schnelle Überprüfung sinnvoll erscheinender Parameter auf ihren signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung verursachte bei den SPSS-Prozedur REGRESSION praktisch keinen zusätzlichen Zeit- oder Kostenaufwand.

Da das absolute Alter der Bestände nicht bekannt war, wurde als für diese Zwecke ausreichende Näherung das mittlere Alter der jeweiligen natürlichen Altersklasse aus der Ertragstafel (hier Hilfstabelle der LFV BaWü, 1966) entnommen. Als Eingangsgrößen dienten hierbei die mittleren dGz-Werte der Hauptholzarten im Inventurgebiet (Angaben der Forsteinrichtung) sowie die jeweiligen Mittelhöhen der nat. Altersklassen (terr. Messungen).

Bei der Regressionsanalyse ergaben sich Gleichungssysteme der Form $y = a + bx_1 + cx_2 + \dots + kx_n$. Eine Übersicht der schrittweise in die multiplen Regressionen aufgenommenen Parameter, ihrer einfachen Korrelationskoeffizienten zum Vorrat/ha und lZ sowie der multiplen Korrelationen und des zusätzlichen Beitrags jeder Variablen zur Varianzaufklärung gibt Tab. 3.

Die in Tab. 3 nicht aufgeführten Parameter leisteten keinen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung der Streuung, r^2 wurde nur um weniger als 0,001 erhöht. Auch der Parameter Geländehöhe wurde an Stelle aussagekräftigerer Variablen aus den Regressionsgleichungen ausgeschlossen.

Wie Tab. 3 zeigt, waren die Vorräte am straffsten mit dem Parameter Kronenprozent $\times$ Alter korreliert, der lZ Fichte mit Kronenprozent/Alter. Diese Parameter allein klärten den Löwenanteil der Varianz, die anderen angeführten Variablen leisteten nur mehr oder weniger bescheidene Beiträge.

Tabelle 3: Übersicht der abhängigen und unabhängigen Variablen, ihrer einfachen und multiplen Korrelationskoeffizienten

abhängige Var.	unabhängige Var.	einf. r	mult.r ⁺	mult.r ²	Δr^{2++}
Vfm/ha Fichte	$C_{Fi} \times \text{Alter}$	0,869	0,869	0,756	0,756
	C_{Fi}	0,755	0,878	0,772	0,016
	$C_{Fi}^2 \times \text{Alter}^2$	0,865	0,881	0,776	0,004
Vfm/ha Fi, LÄ, Dg, Kie	$C_{Fi} \times \text{Alter}$	0,873	0,873	0,761	0,761
	C_{Fi}	0,757	0,881	0,776	0,015
	$C_{Fi}^2 \times \text{Alter}^2$	0,868	0,884	0,781	0,005
Vfm/ha Tanne	$C_{Ta} \times \text{Alter}$	0,955	0,955	0,913	0,913
	C_{Ta}^3	0,782	0,959	0,921	0,008
	C_{Ta}^2	0,833	0,962	0,926	0,005
	C_{Ta}	0,948	0,964	0,930	0,004
Vfm/ha Laubholz	$C_{Lh} \times \text{Alter}$	0,896	0,896	0,804	0,804
	C_{Lh}^3	0,706	0,905	0,818	0,014
	$C_{Lh}^3 \times \text{Alter}^3$	0,747	0,909	0,826	0,008
	$C_{Lh}^2 \times \text{Alter}^2$	0,828	0,911	0,830	0,004
Vfm/ha Buche	$C_{Lh} \times \text{Alter}$	0,828	0,828	0,685	0,685
	C_{Lh}^3	0,631	0,842	0,708	0,023
	C_{Lh}^2	0,706	0,843	0,711	0,003
	C_{Lh}	0,784	0,849	0,720	0,009
	$C_{Lh}^3 \times \text{Alter}^3$	0,668	0,859	0,738	0,018
lgz Fichte	C_{Fi}/Alter	0,750	0,750	0,563	0,563
	C_{Fi}	0,743	0,761	0,578	0,015
	Alter^3	-0,534	0,762	0,581	0,003

⁺ mult. r gibt den gemeinsamen Korrelationswert aller bis dahin aufgelisteten Parameter zum Vorrat/ha bzw. lZ an

⁺⁺ Δr^2 gibt an, inwieweit die neu in die Regressionsgleichung aufgenommene Variable zusätzlich zur Varianzaufklärung beiträgt

Das Produkt aus Kronenprozent und Alter erwies sich als so überzeugender Luftbildparameter zur Vorratsschätzung, daß diese beiden Variablen generell bei mehrphasigen luftbildgestützten Vorratsinventuren aufgenommen werden sollten, unabhängig von der jeweiligen Holzartenstruktur und geographischen Lage des Inventurgebiets.

An Hand der Regressionsgleichungen ließen sich für sämtliche Luftbildpunkte die Vorräte und der laufende Zuwachs berechnen. Mit der SPSS-Prozedur AGGREGATE wurden die Ergebnisse nach Holzart, Waldbesitz, nat. Altersklasse, Rückeentfernung und Hangneigung aufgelistet und nach beiden Flugstreifen getrennt ausgedruckt. Ebenfalls über AGGREGATE wurde die Gesamtwuchsleistung von Fichte analog der Magin'schen Wuchsreihen (Magin 1963) hergeleitet.

Außerdem wurden die Flächenwerte der einzelnen Waldfunktionen, der Prozentsatz der geschälten Stämme in Stangenhölzern und jungen Baumhölzern des Rotwildgebietes, die Altersstruktur der Wälder nach Besitzart und die Abweichung der tatsächlichen Stammzahl von der Zielbaumzahl der Leitkurve A berechnet.

Zum Aufstellen der mehrdimensionalen Häufigkeitstabellen wurde die Statistikprozedur CROSSTABS verwendet.

Bei einem operationellen großräumigen Vorgehen mit ausreichendem Stichprobenumfang könnten sämtliche Ergebnisse auch nach Wachsbereichen, politischen oder geographischen Einheiten, Besitzarten usw. untergliedert werden. Es ließe sich z.B. ausdrucken, bei welchen Besitzarten welche Durchforstungsrückstände vorliegen oder wo Rotfäule in bestimmtem Umfang auftritt.

7. INVENTURERGEBNISSE DER 2- UND 3-PHASIGEN VERFAHREN

7.1 2-PHASIGES VERFAHREN

Als Befundeinheit für die 2-phasige Variante der vorgeschlagenen Inventurmethodik wurde die Gesamtfläche der beiden Flugstreifen gewählt. Das Gebiet hatte eine Fläche von 36 900 ha, der Waldanteil betrug 22 500 ha.

An Hand der zwischen Bodenmessungen und Luftbildinterpretation aufgestellten Regressionen wurde für jeden Luftbildpunkt holzartenweise der Vorrat/ha und für Fichte der IZ berechnet. Durch die im Datensatz jedes Stichprobepunktes enthaltenen Informationen ließen sich die Gesamtvorräte auflgliedern nach Holzarten, Waldbesitz, nat. Altersklassen, Sortimenten sowie nach Rückeentfernung und Hangneigung als Parameter für ökologische Zugänglichkeit. Außerdem konnten Angaben gemacht werden über die durchschnittliche Rückeentfernung bei den einzelnen Besitzarten, die Flächenanteile von Wäldern mit speziellen Schutz- und Erholungsfunktionen, den Prozentsatz geschälter Stämme mit Flächenangaben für das Rotwildgebiet Südschwarzwald sowie Durchforstungsrückstände in Stangenhölzern und jungen Baumhölzern. Nun zu den Ergebnissen im einzelnen:

7.1.1 STEHENDER VORRAT FICHTE

Der gesamte stehende Fichtenvorrat des 22 500 ha umfassenden Untersuchungsraumes betrug 6 359 430 Vfm. Das entspricht einem ha-Vorrat von durchschnittlich 282,6 Vfm. Diese Werte wie auch alle weiteren Vorratsangaben geben ein Bild des tatsächlich vorhandenen Holzes, berücksichtigen also auch Steillagen, Nichtwirtschaftswälder und Baumbestände auf ehemaligen Weidflächen. Gerade auf brachliegenden Grenzertragsböden im südlichen Schwarzwald hat sich im Lauf der Zeit ein nicht unerheblicher Holzvorrat angesammelt, der bisher in keiner Statistik erfaßt wurde. Es wurden also sämtliche potentiell nutzbaren Vorräte berechnet. Nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten, Nutzungsbeschränkungen durch spezielle Schutz- und Erholungsfunktionen

und forstpolitische Kriterien könnten sich für die Praxis die tatsächlich nutzbaren Vorräte ausscheiden lassen.

Der für modellhafte Untersuchungen hier vertretbare Stichprobenumfang war allerdings etwas zu gering, um derartige Differenzierungen vornehmen zu können. Es hätten sich viele kleine und kleinste Flächenkategorien ergeben, für die eine sinnvolle statistische Angabe nicht erzielbar gewesen wäre.

Bei tatsächlichen Großrauminventuren mit ausreichendem Stichprobenumfang sind solche Angaben aber sehr wohl möglich.

Die Standardabweichung der Vorratsschätzung betrug $\pm 3,2 \%$ bei einer statistischen Sicherheit von 95% . Die Streuungsberechnung erfolgte nach den von Löttsch und Haller (1964) für 2-phasige Verfahren aufgestellten Formeln. Im vorliegenden Fall wurden die Stichproben der 2. Phase (Bodenmessungen) zufällig ausgewählt.

Deshalb galt

$$S_y^2 = s_y^2 \left(\frac{1-r^2}{n} + \frac{r^2}{k} \right)$$

wobei

S_y^2 = Streuung des Gesamtvorrats

s_y^2 = Streuung um die Regressionskurve

r = Korrelationskoeffizient zwischen Luftbildvariablen und Bodenmessungen

n = Anzahl der Bodenpunkte

k = Anzahl der Luftbildpunkte

Die entsprechenden Zahlenwerte waren in diesem Fall

s_y = 121,05 Vfm

r = 0,881

k = 729 Luftbildpunkte mit Fichten-Vorkommen

n = 279 Bodenpunkte mit Fichten-Vorkommen

Die Gleichung lautete also

$$S_y^2 = 121,05^2 \left(\frac{1-0,776}{279} + \frac{0,776}{729} \right) = 27,32$$

S_y = 5,2 Vfm

Kennt man noch das Kostenverhältnis zwischen Bodenmessung und Luftbildinterpretation eines Stichprobenpunktes, läßt sich außerdem die optimale Anzahl von Luftbild- und Bodenpunkten zum Erreichen einer bestimmten Präzision bei ökonomischstem Mittelein-

satz berechnen. Im vorliegenden Fall kostete die Bodenmessung eines Punktes etwa 25 mal so viel wie die entsprechende Luftbildauswertung (siehe Kap. 8).

Die Anzahl der nötigen Luftbildpunkte beträgt nach Löttsch und Haller (1964):

$$k = \frac{\sqrt{sy^2 (1-r^2) sy^2 \cdot r^2 \cdot \frac{C_{terr}}{CLb}} + sy^2 \cdot r^2}{ts^2}$$

wobei $sy\%$ = Variationskoeffizient der Regression
(s_y in % vom arithm. Mittel der durch die Regression ausgeglichenen Werte)
 C_{terr} = Kosten für die terrestrische Messung eines Stichprobenpunktes
 CLb = Kosten für die Luftbildinterpretation eines Stichprobenpunktes
 $ts\%$ = akzeptierter Repräsentationsfehler geteilt durch gewünschten t-Wert

Bei einem Kostenverhältnis $\frac{C_{terr}}{CLb} = 25$, $sy\%$ von 37,4 % und $ts\%$ von 2,5 (Repräsentationsfehler von 5 % bei $t = 2$) lautet die Gleichung:

$$k = \frac{sy^2 \cdot \sqrt{\frac{C_{terr}}{CLb} \cdot r^2 (1-r^2)} + sy^2 \cdot r^2}{ts^2}$$

$$= \frac{37,4^2 \cdot \sqrt{0,776 (1-0,776)} + 37,4^2 \cdot 0,776}{6,25} = 640$$

Das optimale Verhältnis zwischen Luftbildpunkten und Bodenpunkten berechnet sich ebenfalls nach Löttsch und Haller (1964):

$$f = \frac{n}{k} = \sqrt{\frac{CLb}{C_{terr}}} \cdot \frac{1-r^2}{r^2}$$

Hier ist $f = \sqrt{\frac{1}{25}} \cdot \frac{1-0,776}{0,776} = 0,108$

Das heißt, zur Minimierung der Inventurkosten müßten 640 Luftbildpunkte und $0,108 \times 640 = 69$ Bodenpunkte gemessen werden, um einen Repräsentationsfehler von 5 % nicht zu überschreiten.

Das Verhältnis 640 : 69 ist dabei nicht an bestimmte Flächengrößen gebunden. Bei gleichbleibenden Bestockungsverhältnissen wären für ein 4 oder 5 mal größeres Inventurgebiet auch nur 640 Luftbildpunkte und 69 Bodenstichproben zu vermessen. Mit anderen Worten, durch die Verwendung von Luftbildern als erste Inventurphase ließe sich der Fichtenvorrat eines 20 000 - 100 000 ha großen Waldgebietes bei nur 69 Bodenstichproben praktisch mit Massentafelgenauigkeit berechnen.

Der Extensivierung der Bodenstichproben sind jedoch bestimmte Grenzen gesetzt, wo es darum geht, auch für Subeinheiten detaillierte Aussagen zu treffen oder nicht luftbildsichtbare Merkmale aufzunehmen wie z.B. Qualitätsmerkmale des Schaftes.

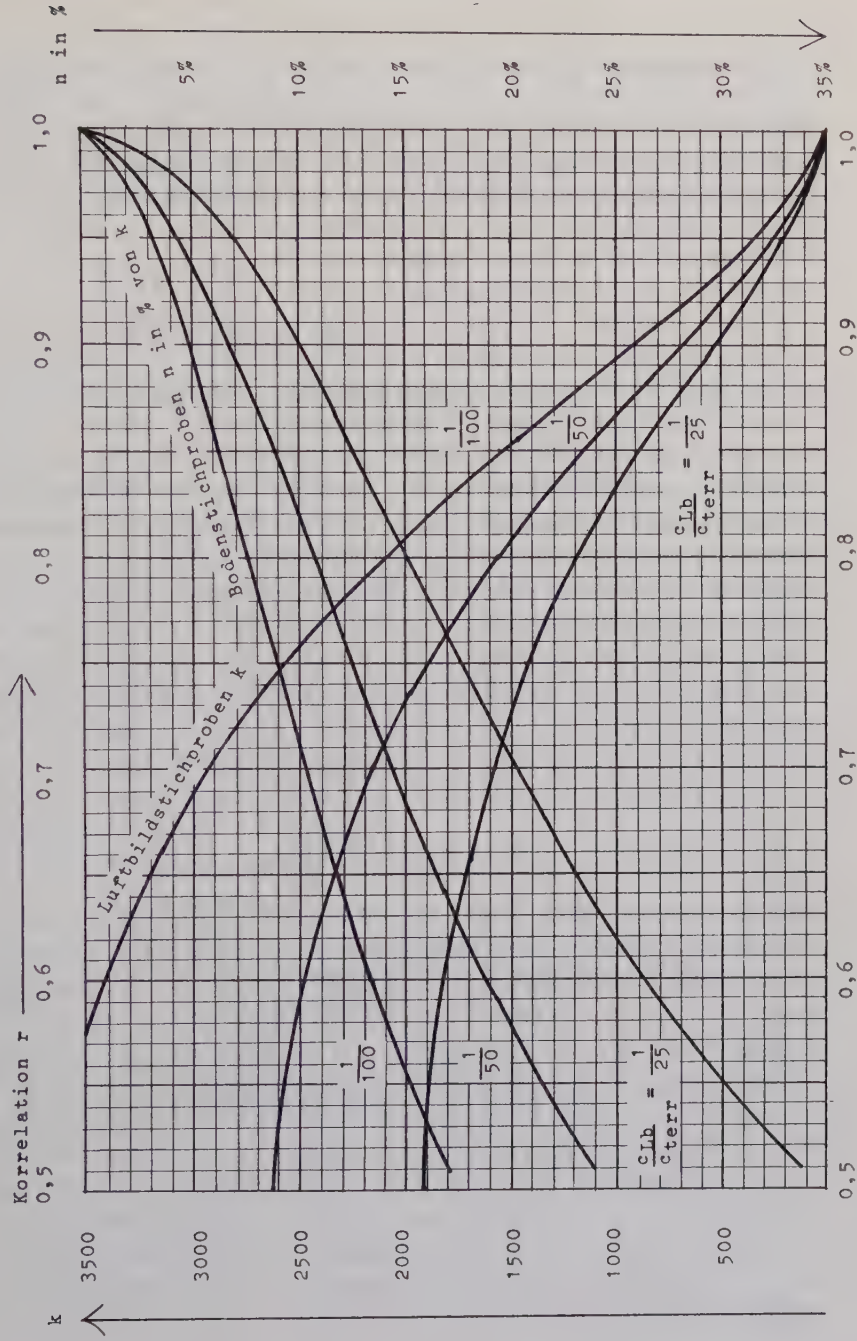
Zum raschen Abschätzen der optimalen Anzahl von Luftbild- und Bodenpunkten bei der Inventurplanung wurde eine entsprechende Graphik entwickelt (Abb. 23). Abb. 23 gibt in Abhängigkeit vom Korrelationskoeffizient zwischen Luftbildparametern und Bodenmessungen und dem Kostenverhältnis Photointerpretation: Bodenmessung $\frac{C_{LB}}{C_{terr}}$ die optimale Anzahl Photostichproben und den Prozentsatz nötiger Bodenstichproben an. Der akzeptierte Repräsentationsfehler beträgt 5 % bei 95 % Sicherheit.

Als Grundlage für die Graphik dienten die genannten Formeln von Loetsch und Haller (1964), wobei zur einfachen Ermittlung der Photopunkte über nur 2 Eingangsvariablen r und $\frac{C_{LB}}{C_{terr}}$ die sy%-Angaben in Funktionen von r überführt wurden. Für die Kalkulation des Stichprobenumfangs beider Phasen sind also nur Angaben über Korrelation und Kostenverhältnis zwischen Luftbild- und Bodenmessungen nötig. Diese Angaben können entweder von ähnlichen Inventuren abgeleitet, bei Pilot-Studien ermittelt oder hilfsweise als Näherung dieser Inventur entnommen werden.

Die genannten Gleichungen sowie Abb. 23 ermöglichen eine individuelle Kalkulation der nötigen Stichproben abgestimmt auf die Genauigkeitsansprüche der Vorratsermittlung einzelner Holzarten. Voraussetzung dazu ist lediglich ein orientierender Überblick über die Holzartenstruktur im Inventurgebiet. Je nach Inventurschwerpunkt lassen sich Anzahl und Verteilung der Stichproben so wählen, daß für jede Holzart ein akzeptierter Repräsentationsfehler nicht überschritten wird.

Abb.23

Diagramm zur Kalkulation der optimalen Anzahl von Luftbildstichproben k und Bodensstichproben n in Abhängigkeit von Korrelation und Kostenverhältnis zwischen Photo- und Bodenmessungen



7.1.2 STEHENDER VORRAT TANNE

Der gesamte Tannenvorrat im beflogenen Gebiet betrug 1 138 730 Vfm, das entspricht 50,6 Vfm/ha. Die Streuung und die optimale Anzahl von Luftbild- und Bodenpunkten wurden ebenfalls nach den Formeln von Lötsch und Haller berechnet.

Die entsprechenden Werte waren für

s_y	=	36,46 Vfm
$sy\%$	=	18,02 %
r	=	0,964
k	=	217 Luftbildpunkte mit Tannenvorkommen
n	=	122 Bodenpunkte " "

Die Standardabweichung betrug $\pm 2,5$ % bei 95 % Sicherheit. Für einen Repräsentationsfehler von 5 % wäre die optimale Anzahl der Luftbildpunkte 115, die der Bodenpunkte 7.

Die relativ geringe Anzahl der nötigen Stichprobenpunkte, besonders der Bodenmessungen, beruhten auf dem niedrigen Variationskoeffizienten der Regression von nur 18 % und der strengen Korrelation $r = 0,964$ zwischen Luftbildvariablen und Vorrat. Hier wird wieder deutlich, wie sehr sich mit Hilfe der Fernerkundung Aufwand und Kosten von Großrauminventuren senken lassen.

7.1.3 STEHENDER VORRAT SONSTIGE NADELHÖLZER

Die Vorräte von Kiefer, Lärche und Douglasie konnten im vorliegenden Fall nicht direkt über Regressionen ermittelt werden, da diese Baumarten durch ihr sporadisches Vorkommen im Inventurgebiet (ca. 2 % der Fläche) und überwiegende Einmischung in Fichtenbeständen auf den Luftbildern 1 : 50 000 nicht als gesonderte Klasse ausgeschieden, sondern der Fichte zugeschlagen wurden. Siehe dazu Kap. 5.2.2. Sie ließen sich aber indirekt ermitteln. Zuerst wurde eine Regression aufgestellt zwischen dem Parameter C_{Fi} (Kronenprozent Fichte incl. Kiefer, Lärche und Douglasie) und den Vorräten von Fichte, Kiefer, Lärche und Douglasie. Anschließend berechnete man nur die Fichtenvorräte in Abhängigkeit von C_{Fi} , die Differenz ergab die gewünschten Vorräte der sonstigen Nadelbaumarten.

Die so gewonnenen Werte haben natürlich nur orientierenden Charakter. Eine Gegenüberstellung mit den Werten der Forsteinrichtung zeigte jedoch, daß die Größenordnung durchaus richtig war (Tab. 11). Die Vorräte von Kiefer, Lärche und Douglasie im Untersuchungsraum wurden auf 70 920 Vfm geschätzt, entsprechend 3,2 Vfm/ha.

7.1.4 STEHENDER VORRAT LAUBHOLZ

Der Gesamtvorrat des im Inventurgebiet stockenden Laubholzes betrug 1 343 320 Vfm entsprechend 59,7 Vfm/ha. Gerade bei Laubholz ist in den Höhenlagen des Schwarzwaldes eine pauschale Vorratsangabe etwas problematisch, da die Schaftform und Qualität stark schwankt. Bei einer praktischen Inventur müßten zusätzlich noch Qualitätsmerkmale, Schaftlänge etc. aufgenommen und die Vorräte danach gegliedert werden. Im Rahmen dieser Arbeit sollte aber keine in jeder Hinsicht vollständige Inventur durchgeführt werden, sondern es sollte an Hand ausgewählter Beispiele die Möglichkeiten eines 2-phasigen Verfahrens demonstriert werden.

Es wäre natürlich möglich gewesen, die Laubholzvorräte nach Dimension, Schaftlänge und Qualität aufzugliedern, hätte aber den Rahmen der Arbeit gesprengt.

Die entsprechenden Rechengrößen waren:

sy% = 35 %

r = 0,911

k = 375 Luftbildpunkte mit Laubholzanteil

n = 157 Bodenproben " "

Die daraus hergeleitete Standardabweichung der Vorräte betrug ± 4 %, das optimale Verhältnis Luftbildpunkte zu Bodenpunkte war 531 zu 51.

7.1.5 STEHENDER VORRAT LAUBHOLZ; DIFFERENZIERT NACH BUCHE UND SONSTIGEN LAUBHÖLZERN

Vorratsfestmeter Buche

Die Buchenkronen konnten zwar auf den Luftbildern nicht eindeutig von denen anderer Laubbäume unterschieden werden, es ließ sich aber eine geeignete Regression aufstellen zwischen Buchenvorrat und dem Kronenschluß Laubholz allgemein ($r = 0,859$). Die Buchenvorräte des Inventurgebietes betrugen 1 161 030 Vfm entsprechend 51,6 Vfm je ha, die Standardabweichung $\pm 5,3$ % bei 95 % Sicherheit.

Die entsprechenden Zahlenwerte:

$$sy\% = 43 \%$$

$$r = 0,859$$

$$k = 375 \text{ Luftbildpunkte mit Laubholzanteil}$$

$$n = 145 \text{ Bodenpunkte mit Buchenanteil}$$

Auf Grund des relativ hohen Variationskoeffizienten sind etwas mehr Stichproben als bei den vorangegangenen Holzarten nötig, um einen Repräsentationsfehler von 5 % nicht zu überschreiten. Das optimale Verhältnis zwischen Photo- und Bodenpunkten wäre 869 zu 104.

Vorräte sonstiger Laubhölzer

Da die einzelnen Laubbaumarten auf den Luftbildern nur schwer zu differenzieren waren und sich keine direkte Regression zwischen Vorrat und Luftbildparametern aufstellen ließ, wurden die Vorräte für Esche, Ahorn, Ulme usw. nach dem Prinzip hergeleitet:

$$V_{\text{fm}}^{\text{Es,Ah,Ul und sLb}} = V_{\text{fm}}^{\text{Laubholz insgesamt}} - V_{\text{fm}}^{\text{Buche}}$$

Sie wurden auf insgesamt 182 300 Vfm entsprechend 8,1 Vfm/ha geschätzt. Ähnlich wie beim Vorrat sonstiger Nadelbäume lag die Größenordnung der Schätzung durchaus im Rahmen der Forsteinrichtungswerte (siehe Tab. 11).

Einen Überblick der Gesamtvorräte im Untersuchungsgebiet gibt Abb. 24.

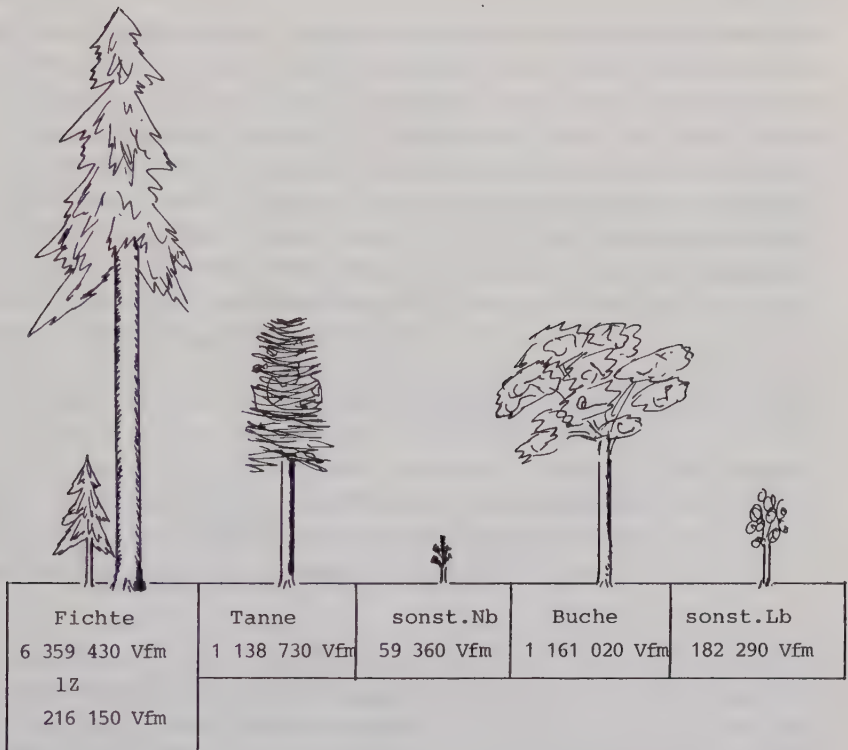


Abbildung 24: Gesamtvorräte und laufender Zuwachs Fichte im Inventurgebiet

7.1.6 LAUFENDER ZUWACHS FICHTE

Informationen über den laufenden Zuwachs eines Großraums wären von großem Vorteil, sind jedoch mit vertretbaren Kosten nur anhaltsweise zu ermitteln (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1965). Für die Praxis scheint deshalb ein mehrphasiges Verfahren große Bedeutung zu haben. Durch die Luftbildinterpretation wird die Anzahl der nötigen Bohrungen stark reduziert, und es ergab sich mit $r = 0,762$ auch eine recht gute Korrelation zwischen laufendem Zuwachs und Luftbildparametern.

Der 1Z Fichte belief sich im Untersuchungsraum auf 216 150 Vfm je Jahr $\pm 5,1$ %. Bezogen auf Fichtenbestände wären das 11,9 Vfm/ha.

Zur Streuungsberechnung und Kalkulation des optimalen Stichprobenumfanges benutzte Zahlenwerte:

sy% = 53,3 %

r = 0,762

k = 729 Luftbildpunkte mit Fichtenanteil

n = 279 Bodenpunkte, an denen der 1Z Fichte gemessen wurde

Zum Einhalten eines Repräsentationsfehlers von 5 % wären bei Kostenminimierung 1385 Luftbildpunkte zu interpretieren und 236 Bodenproben zu vermessen (Vorrat, 1 Bohrspan). Nach Hildebrandt (1967) wären im selben Falle bei rein terrestrischen Aufnahmen etwa 500 - 1000 Bohrspäne nötig. Die Luftbildinterpretation trägt also merklich dazu bei, den Arbeitsaufwand zu reduzieren und unnötige Holzschäden durch Bohrungen zu vermeiden.

7.1.7 GESAMTWUCHSLEISTUNG DER FICHTE

Zur Charakterisierung der Zuwachssituation war neben dem laufenden Zuwachs noch die Gesamtwuchsleistung von Interesse. Nach Magin (1958) ist die tatsächliche Wuchsleistung oft erheblich anders als nach der Höhenbonitierung erwartet, sie kann durch Standort und Behandlung leicht beeinflusst werden. Auch tendiert die Forsteinrichtung zur Sicherung der Nachhaltigkeit und aus sonstigen Gründen meist zu einer etwas vorsichtigen Bonitierung.

Eine repräsentative Erfassung der tatsächlichen Wuchsleistung einzelner Baumarten dürfte deshalb aufschlußreiche Informationen über das individuelle Ertragsniveau eines Gebietes liefern und der forstlichen Planung nützliche fundierte Daten zur Verfügung stellen.

Exakte ertragskundliche Daten lassen sich nur über einen längeren Zeitraum erfassen. Das Konzept der Wuchsreihe nach Magin (1969, 1963) erlaubt aber auch bei einmaliger Inventur eine recht gute Schätzung der Gesamtwuchsleistung des Inventurgebietes. Beobachtet wird dabei nicht die zeitliche Entwicklung des Einzelbestandes, sondern alle Bestände einer Wuchsreihe, d.h. einer Einheit im ertragskundlichen Sinne, werden als gleichzeitig vorkommende Ausprägung aller Altersstufen betrachtet. Man geht also davon aus, daß der heutige Altbestand vor 40 Jahren so ähnlich aussah wie das heutige Baumholz daneben.

Durch Ermitteln von Vorräten, Stammzahl, Höhe und Durchmesser des Mittelstammes der verschiedenen nebeneinander vorkommenden Altersstufen läßt sich demnach die Gesamtwuchsleistung ableiten.

Die von Magin (1963) dafür entwickelte Formel lautet:

$$GWL_t = V_a + \sum_a^t \Delta V_s + \sum_a^t \Delta N_s \cdot V_m\left(\frac{s}{2}\right) \cdot k$$

wobei GWL_t = Gesamtwuchsleistung im Alter t

V_a = Anfangsvorrat

ΔV_s = Vorratsdifferenz im Zeitraum s

ΔN_s = Stammzahldifferenz im Zeitraum s

$V_m\left(\frac{s}{2}\right)$ = Volumen des Vorratsmittelstammes in der Mitte der Periode s

k = Korrekturfaktor, "in weiten Grenzen üblicher Durchforstung = 0,5" (Magin 1963)

Im konkreten Fall wurden beispielhaft an Fichte mit der SPSS-Prozedur AGGREGATE (siehe Kap. 6) für jede ausgeschiedene Altersklasse der durchschnittliche Vorrat/ha, die mittlere Stammzahl sowie Höhe und Durchmesser des Grundflächenmittelstammes berechnet. Die Berechnung stützte sich auf 166 terrestrisch vermessene, hauptsächlich mit Fichte bestockte Stichproben. Die Ergeb-

nisse wurden entsprechend dem Rechenschema von Magin (1963) in Tab. 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4: Berechnung der Gesamtwuchsleistung von Fichte nach dem Prinzip der Magin'schen Wuchsreihen

nat. Alters- klasse	N_s	ΔN_s	h_m in m	d_m in cm	V_s ΔV_s in Vfm	V_m $V_m(\frac{s}{2})$ in Vfm	$\Delta N \cdot V_m(\frac{s}{2}) \cdot k$ in Vfm	GWL_t in Vfm
Sth	2393		12,4	14,4	262	0,109		262
		1270			233	0,275	175	
Bh	1123		21,6	23,8	495	0,441		+233+175
ger		449			74	0,643	144	
Bh	674		27,0	29,9	569	0,844		+ 74+144
ma		308			54	1,273	196	
Alth	366		31,9	41,4	623	1,702		+ 54+196
					$\Sigma = 623$		$\Sigma = 515$	$\Sigma = 1138$

Die Gesamtwuchsleistung berechnet sich aus dem Vorrat der jüngsten Altersklasse plus Vorratsdifferenzen des verbleibenden Bestandes plus Vorräte des ausgeschiedenen Bestandes.

Im vorliegenden Fall betrug die Gesamtwuchsleistung bis zur Altholz-Klasse (mittl. Alter etwas über 130 Jahre) 262 Vfm + 361 Vfm + 515 Vfm = 1138 Vfm.

Der Gesamtwuchsleistung von 1138 Vfm bei Fichte entspricht ziemlich genau ein dGz_{100} von 9. Der mittlere dGz -Wert der Forsteinrichtung im selben Gebiet liegt bei 8. Dieses Ergebnis bestätigt einmal die erwartete leichte Unterbonitierung der Forsteinrichtung. Der Unterschied von nur einer dGz -Stufe zeigt aber auch, daß bei der Forsteinrichtung das tatsächliche Ertragsniveau recht genau erfaßt wird. Zum anderen wurde demonstriert, daß sich auch mit einer einmaligen Inventur der mittlere dGz eines Großraumes sehr gut schätzen läßt.

7.1.8 ALTERSSTRUKTUR BEI DEN VERSCHIEDENEN WALDBESITZARTEN

Von großem Interesse bei der Vorratsinventur sind Angaben über Alters- und Besitzstruktur der Gesamtvorräte.

Wie Abb. 2 zeigt, sind im Staatswald die jüngeren Altersklassen wesentlich stärker vertreten als im Kommunalwald und erst recht als im Privatwald. Die Stangenhölzer nehmen im Staatswald 20,2 %, im Kommunalwald 12,4 % und im Privatwald 7,5 % der Waldfläche ein. Bei den mittelalten Baumhölzern und den Althölzern ist das Verhältnis gerade umgekehrt: diese beiden Klassen nehmen im Staatswald 40,7 % der Fläche, im Kommunalwald 53,1 % und im Privatwald 55,9 % ein. Wie im weiteren Verlauf dieses Kapitels deutlich wird, wirkt sich dieses Verhältnis natürlich stark auf die durchschnittlichen Vorräte/ha und den laufenden Zuwachs aus.

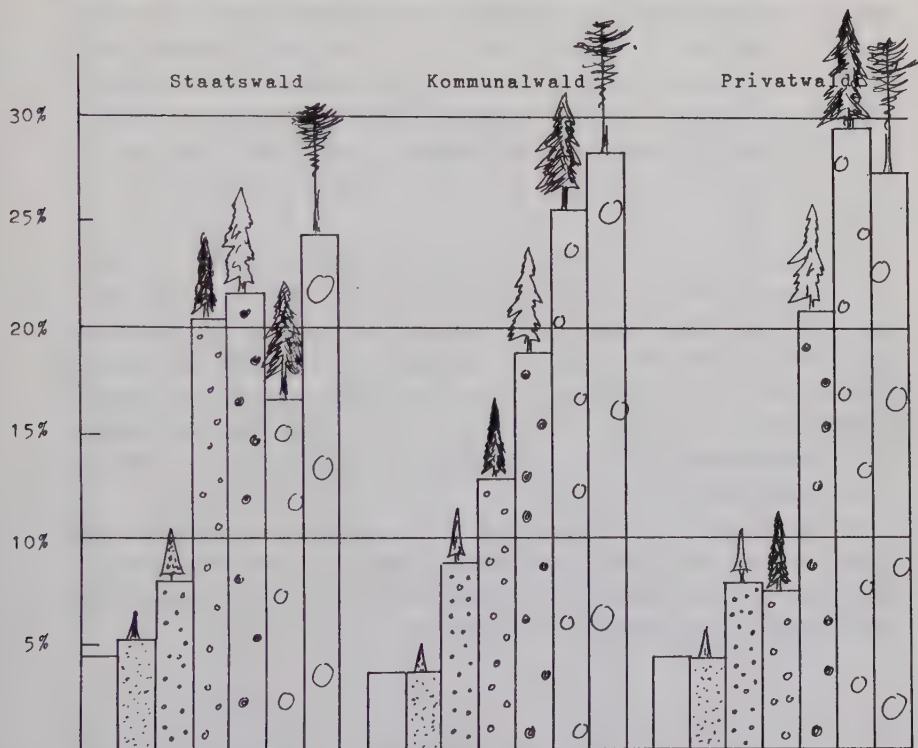


Abb. 25: Altersstruktur der Wäldungen verschiedener Besitzarten
 von links nach rechts: Wege und sonst. Nhb-Flächen, Kultur, Dichtung,
 Stangenhholz, geringes Baumholz, mittelaltes Baumholz und Altholz

7.1.9 VORRATSSTRUKTUR UND LAUFENDER ZUWACHS BEI DEN EINZEL- NEN WALDBESITZARTEN

Der Staatswald nahm im Testgebiet für die 2-phasige Methode mit 7 675 ha 34,1 % der Waldfläche ein. Auf die Kommunen entfielen 6 450 ha entsprechend 28,7 %, auf privaten Waldbesitz 8 375 ha entsprechend 37,2 %. Die Gesamtvorräte verteilten sich etwa proportional der Waldanteile auf die einzelnen Besitzarten, wobei die ha-Werte im Staatswald mit 381,0 Vfm am niedrigsten, im Kommunalwald mit 390,4 Vfm etwas höher und im Privatwald mit 414,3 Vfm am höchsten lagen. Das entsprach genau der Verteilung vorratsreicher Altbestände bei den einzelnen Besitzarten in Abb. 25. Beim laufenden Zuwachs Fichte war das Verhältnis erwartungsgemäß umgekehrt. Er war mit 13,4 Vfm/ha bezogen auf Fichtenbestände im Staatswald am höchsten, im Kommunal- und Privatwald mit 11,1 Vfm bzw. 11,0 Vfm entsprechend geringer. Ausschlaggebend dafür war der hohe Prozentsatz zuwachsstarker Stangenhölzer im Staatswald und überwiegend ältere Bestände im Kommunal- und Privatwald. Eine Zusammenfassung dieser Daten und eine Übersicht über die Vorräte der einzelnen Holzarten gibt Tab. 5 und Abb. 26.

Der prozentuale Anteil der Holzarten am Gesamtvorrat war bei allen Besitzarten ungefähr gleich. Die Fichtenvorräte machten mit etwa 70 % den Hauptanteil aus, gefolgt von Tanne und Buche mit jeweils etwa 13 % und den sonstigen Laub- und Nadelhölzern mit 2 % bzw. 1 %. Es fiel auf, daß im Kommunalwald der Laubholzanteil auf Kosten der Fichte mit 18,9 % am höchsten war, die Laubholzwerte für den Privatwald lagen bei 13,9 %, für den Staatswald bei 13,2 %.

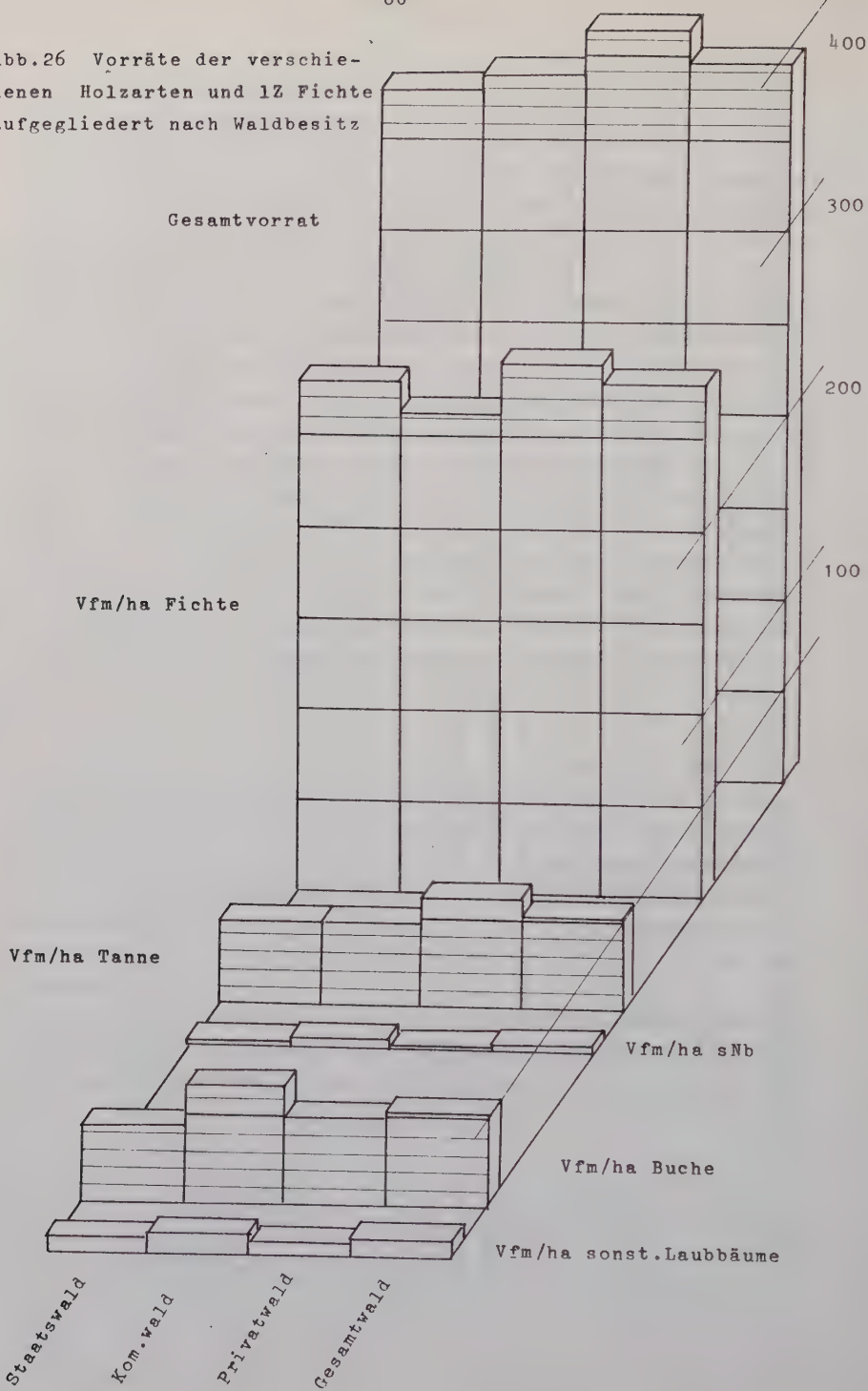
Der Tannenanteil war mit 14,2 % im Privatwald am höchsten. Der Grund dürfte sein, daß plenterartig bewirtschaftete tannenreiche Bestände der aussetzenden Betriebsweise vieler Kleinprivatwaldbesitzer am ehesten entsprechen.

Tabelle 5: Aufgliederung der Vorräte und des l2 Fichte auf die einzelnen Waldbesitzarten

	Staatswald			Kommunalwald			Privatwald			Gesamtwald		
	Vfm	Vfm/ha	%	Vfm	Vfm/ha	%	Vfm	Vfm/ha	%	Vfm	Vfm/ha	%
Vfm Fichte	2 167 150	282,4	74,1	1 720 480	266,7	68,3	2 471 800	295,1	71,2	6 359 430	282,6	71,4
Vfm Tanne	346 730	45,2	11,9	297 630	46,1	11,8	494 380	59,0	14,2	1 138 740	50,6	12,8
Vfm snh	25 200	3,2	0,8	25 060	3,9	1,0	20 650	2,5	0,6	70 910	3,2	0,8
Vfm Buche	323 390	42,1	11,0	414 190	64,2	16,4	423 440	50,6	12,2	1 161 020	51,6	13,0
Vfm slh	61 780	8,0	2,2	60 670	9,4	2,5	59 840	7,1	1,7	182 290	8,1	2,0
Vfm insges.	2 924 250	381,0	100	2 518 030	390,4	100	3 470 110	414,3	100	8 912 390	396,1	100
l2 Fichte*	81 540	13,4		57 130	11,1		77 470	11,0		216 140	11,8	
Holzboden- fläche	7 675 ha		34,1 →	6 450 ha		28,7 →	8 375 ha		37,2 →	22 500 ha		100

* ha-Werte bezogen auf Bestände mit Hauptbaumart Fichte

Abb.26 Vorräte der verschiedenen Holzarten und 1Z Fichte aufgegliedert nach Waldbesitz



Der laufende Zuwachs für Fichte lag mit durchschnittlich 11,8 Vfm/ha deutlich über dem dGZ von 9. Um der Ursache dafür auf den Grund zu gehen, wurden die Durchschnittsvorräte der einzelnen Altersklassen mit den entsprechenden Ertragstafel-Angaben für dGZ 9 verglichen. Als Eingangsgröße diente die Höhe des Mittelstammes. Er ergab sich folgende Bestockungssituation:

	Inventur	ET, dGZ 9	Bestockung
Stangenhölzer (12,4 m)	262 Vfm/ha	185 Vfm/ha	1,42
geringes Baumholz (21,6 m)	495 Vfm/ha	443 Vfm/ha	1,12
mittelaltes Baumholz (27,0 m)	569 Vfm/ha	557 Vfm/ha	1,02
Altholz (31,9 m)	623 Vfm/ha	599 Vfm/ha	1,04

Wie man sieht, lagen die Vorräte vor allem in den jungen, zuwachsstarken Beständen deutlich über den entsprechenden Ertragstafelwerten. Dieses Bild paßt zum Ergebnis der Gegenüberstellung von tatsächlicher Stammzahl und der nach Durchforstungskurve A (FVA Baden-Württemberg 1968, 1972) empfohlenen Zielbaumzahl (siehe 7.1.15). Dort waren bei 23 % aller Stangenhölzer und jungen Baumhölzer die tatsächlichen Stammzahlen mindestens doppelt so hoch wie die in Leitkurve A empfohlenen Werte. Bei weiteren 25 % der Jungbestände lagen die wirklichen Stammzahlen zwischen 150 und 200 % der entsprechenden Zahlen von Leitkurve A. Bei aller Skepsis einernormativen Durchforstungsempfehlung gegenüber wurde doch bestätigt, daß die tatsächlichen Vorräte und damit auch der laufende Zuwachs wesentlich über den Ertragstafelwerten lagen. Eine Ertragstafelschätzung führt hier zwangsläufig zu einer Unterbewertung des laufenden Zuwachses.

7.1.10 AUFGLIEDERUNG DER GESAMTVORRÄTE NACH HOLZARTEN UND ALTER

Um einen Einblick in die Vorratsstruktur des Inventurraumes zu bekommen, wurden sämtliche Vorräte in Tab. 6 und Abb. 27 nach Holzart und nat. Altersklasse aufgelistet. Wie man sieht, hatte die Fichte mit 2 406 930 Vfm entsprechend 452 Vfm/ha ihr Maximum

in der Klasse mittelaltes Baumholz. In den Althölzern sank ihr Vorrat wegen des geringeren Mischungsanteils auf 272 Vfm/ha ab. Tanne und Laubholz dagegen hatten ein ausgeprägtes Maximum in den älteren Beständen mit jeweils über 140 Vfm/ha. Bei Tanne liegen 94,5 % der gesamten Vorräte im Starkholzbereich, d.h. in Altbeständen und in alten Baumhölzern. Bei der Buche sieht es ähnlich aus, hier liegen 86,7 % aller Vorräte in Altbeständen und mittelalten Baumhölzern. In den jüngeren Beständen dagegen fielen ihre Anteile stark ab. Einmal wurden Tanne und Buche bei Wiederaufforstungen oft durch Fichte und sonstige Nadelhölzer ersetzt bzw. unter Altholzschirm verjüngt, so daß sie in den jüngeren Altersklassen fehlten. Zum anderen blieben ihre Hauptvorkommen, steile, unzugängliche Hänge, oft ungenutzt und wurden dementsprechend auch nicht verjüngt.

Sonstige Nadelhölzer wie Kiefer, Douglasie und Lärche kamen praktisch nur in jüngeren Beständen vor. In den geringen Baumhölzern erreicht ihr Vorrat teilweise 10 Vfm/ha.

Allgemein fällt auf, daß der Fichtenanteil in den jüngeren Altersklassen stark zunimmt, während Tanne und Laubhölzer entsprechend abnehmen. Ein Grund liegt natürlich in der unterschiedlichen waldbaulichen Behandlung dieser Bestände. Ein anderer ist aber darin zu sehen, daß frühere Buche-Tanne-Fichte Mischwälder aus ökonomischen Überlegungen mit reiner Fichte aufgeforstet wurden.

Im Untersuchungsraum spielen auch Erstaufforstungen auf unrentablen landwirtschaftlichen Grenzertragsböden sowie Nachkriegsaufforstungen der Reparationshiebe eine große Rolle bei der Zunahme der Fichte in den jüngeren Altersklassen.

Auf diese Weise hat sich im Laufe der Jahre eine tiefgreifende Umstrukturierung des zentralen Südschwarzwaldes ergeben.

Tabelle 6: Struktur der Vorräte nach Holzarten und Altersklassen (in Vfm)

	Fichte	Tanne	sNh	Buche	sLh
Sth	696 100	9 900	13 560	29 920	24 700
Bh gering	1 649 550	52 390	44 220	125 050	29 160
Bh mittelalt	2 406 930	219 920	1 570	246 430	37 240
Altholz	1 606 850	856 530	- -	759 610	91 190
Σ	6 359 430	1 138 740	59 350	1 161 010	182 290



Abbildung 27: Struktur der Vorräte nach Holzarten und Altersklassen (in Vfm/ha)

7.1.11 AUFGLIEDERUNG DES FICHTEVORRATES IN EINZELNE SORTIMENTE

Die Angaben über den stehenden Holzvorrat gewinnen ganz erheblich an Aussagekraft, wenn sie mit Zahlen über Anteile einzelner Sortimente verbunden sind. Deshalb wurde am Beispiel Fichte der Gesamtvorrat in einzelne Sorten zerlegt. Zur überschlägigen Kalkulation und zu Demonstrationszwecken wie im vorliegenden Fall genügt es, die Prozentanteile der jeweiligen Sortimente einer Durchmesserklasse der Bestandessortentafel zu entnehmen (LFV Baden-Württemberg 1966). Die Hilfstabelle von 1966 wird in diesem Zusammenhang als Beispiel einer Sortentafel angesehen, auch wenn sie für die heutige Sortimentausscheidung nicht mehr voll relevant sein mag.

Als Eingangsgröße diente hier der Mittendurchmesser der jeweiligen Altersklasse. Für genauere Erhebungen und zur Erfassung von Sondersortimenten müßten bei der Stichprobenaufnahme die Einzelbäume sektionsweise sortiert werden.

Die Vorräte der einzelnen Sortimente in Efm zeigt Tab. 7.

Tabelle 7: Zerlegung des Gesamtvorrates in einzelne Sortimente am Beispiel Fichte

Alters- klasse	d _m in cm	Efm	Stammholzklasse						Ab- schn.	Stamm- holz	Stan- gen	Faser-, Brennh.
			1	2	3	4	5	6				
Sth	14,2	563 840	45	2					5	52	19	29
Bh _g	24,5	1 336 130	4	13	33	22			11	83	1	16
Bh _{ma}	32,2	1 949 620		2	9	40	22	1	13	87		13
Ah	46,4	1 301 550					21	53	15	89		11

Sortimente in %

Stammholzklasse	1	307 170 Efm	6,0 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholzklasse	2	223 970 Efm	4,4 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholzklasse	3	616 390 Efm	12,0 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholzklasse	4	1 073 800 Efm	20,8 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholzklasse	5	702 240 Efm	13,6 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholzklasse	6	709 320 Efm	13,8 % des Gesamtvorrates in Efm
Abschnitte		623 850 Efm	12,1 % des Gesamtvorrates in Efm
Stammholz ges.	4	256 730 Efm	82,7 % des Gesamtvorrates in Efm
Stangen		120 490 Efm	2,3 % des Gesamtvorrates in Efm
Faser-, Brennholz		773 910 Efm	15,0 % des Gesamtvorrates in Efm

Nach Tab. 7 liegt der Stammholzanteil bei über 82 %. Die Stammholzklasse 5 und 6 nehmen mit 1 411 560 Efm 27,4 % der gesamten Fichtenvorräte ein, Klasse 4 mit 1 073 800 Efm weitere 20,8 %. Der Vorrat an Faser- und Brennholz bei Fichte beträgt 773 900 Efm. Bei geänderter Sorteneinteilung, Informationswünschen über Sondersortimente oder individueller Sortenzerlegung an Hand von Einzelbaumdaten läßt sich das Verfahren natürlich entsprechend modifizieren. Bei einer operationellen Methode ließe sich dann z.B. einfach ein EDV-Baustein durch einen anderen ersetzen (Pelz 1978b).

7.1.12 STAFFELUNG DER VORRÄTE NACH RÜCKEENTFERNUNG UND HANGNEIGUNG

Zum Abschätzen der Rückekosten, der Höhe des ökonomisch zugänglichen Vorrats und der Notwendigkeit eventueller Wegeneubauten sind Informationen über die Aufgliederung der Vorräte auf Rückedistanzen von großem Wert. Es wurde deshalb auf den Luftbildern die jeweils kürzeste Rückeentfernung jedes Stichprobenpunktes zum nächsten LKW-befahrenen Waldweg gemessen (vgl. Kap. 5.2). Soweit möglich berücksichtigte man dabei die Reliefverhältnisse, vorhandene Rückewege und Schneisen. Eine Aufstellung gibt Tab. 8.

Tabelle 8: Staffelung der Vorräte nach Rückeentfernung (in Vfm)

	< 100 m	100-200 m	200-300 m	300-400 m	400-500 m	500-600 m	600-800 m
Fi	3 182 310	1 766 360	656 650	345 150	242 650	140 720	25 600
Ta	557 590	300 370	85 840	92 790	56 900	45 080	-
Lh	579 720	450 070	137 490	107 190	48 720	16 700	3 350

Wie Tab. 8 zeigt, liegen bei Fichte 3 182 310 Vfm entsprechend 50 % des Gesamtvorrrats innerhalb einer Rückedistanz von 100 m. Nur 22 % der Fichtenvorräte sind weiter als 200 m von der nächsten Waldstraße entfernt.

In der Praxis können sich natürlich hin und wieder etwas längere Rückedistanzen ergeben als auf dem Luftbild vermutet, das ändert aber nichts am Bild der intensiven Erschließung des Schwarzwaldes.

Bei der Tanne sah die Erschließungssituation ähnlich aus, ebenso beim Laubholz. Bei Tanne lagen 557 590 Vfm entsprechend 49 % der Vorräte innerhalb einer Distanz von 100 m, 24,7 % waren weiter als 200 m entfernt. Bei Laubholz war die durchschnittliche Rückeentfernung etwas länger. Hier lagen nur 579 710 Vfm gleich 43,2 % innerhalb einer Distanz von 100 m. Das ist erklärlich, denn Laubholz stockt im Schwarzwald meist auf den etwas weniger erschlossenen Steillagen.

Aufgegliedert nach Waldbesitzarten ergab sich folgendes Bild der durchschnittlichen Rückeentfernung:

Staatswald	125 m
Kommunalwald	122 m
Privatwald	181 m

Im Staats- und Kommunalwald war die Erschließung etwa gleich gut, im Privatwald dagegen deutlich schlechter.

Für die Kalkulation der Holzwerbungskosten und der Menge des unter vertretbarem Aufwand nutzbaren Holzes interessieren auch An-

gaben über die Hangneigung. Die Vorräte der einzelnen Hauptholzarten wurden deshalb in Tab. 9 nach Neigungsstufen aufgelistet.

Tabelle 9: Aufgliederung der Vorräte nach Neigung der Bestände
(in Vfm)

	0-5°	6-10°	11-20°	21-30°	31-45°	>45°
Fi	697 100	1 529 130	2 310 060	1 487 890	312 500	22 750
Σ %	11 %	35 %	71,3 %	94,7 %	99,6 %	100 %
Ta	43 760	127 500	359 910	374 090	207 980	25 490
Σ %	3,8 %	15 %	46,6 %	79,5 %	97,8 %	100 %
Lh	26 550	63 450	392 510	536 940	285 480	38 380
Σ %	2,0 %	6,7 %	35,9 %	75,9 %	97,1 %	100 %

Bei der Aufgliederung der Holzvorräte auf Hangneigungen ließ sich ein deutliches Vorherrschen der Fichte in ebenen und leicht geneigten Lagen erkennen, während sich Tanne und vor allem das Laubholz auf die steileren Lagen konzentrierten. Auf Hängen unter 20 Grad Neigung stockten 71,3 % der Fichtenvorräte, aber nur 46,6 % der Tannen- und 35,9 % der Laubholzvorräte.

7.1.13 SPEZIELLE SCHUTZ- UND ERHOLUNGSFUNKTIONEN DES WALDES

Bisher wurde mehr oder weniger nur die Produktionsfunktion des Waldes betrachtet. Bei einer Großrauminventur sollten aber auch die Waldflächen mit besonderer Boden-, Wasser- oder sonstiger Schutzfunktion oder intensiv für die Erholung beanspruchten Flächen berücksichtigt werden.

In Baden-Württemberg z.B. lassen sich natürlich derartige Informationen einfach der Waldfunktionenkarte des MELU entnehmen. Liegt eine solche Karte nicht vor oder ist man an Informationen über die Höhe der Mindererträge durch konkurrierende Waldnutzung interessiert, geben Angaben über die Waldfunktion jedes Stichpro-

benpunktes wertvolle Hinweise. Zum Beispiel lassen sich Informationen zusammenstellen, welche Vorräte ohne Nachteile für Ökologie oder menschliches Wohlbefinden genutzt werden können, welche nur eingeschränkt zur Verfügung stehen (intensiv genutzter Erholungswald, Bodenschutz-, Wasserschutz-, Immissionsschutzwälder) oder wo eine Nutzung entfällt (Bannwald, Lawinenschutzwald). Wurde im betreffenden Inventurgebiet noch keine Waldfunktionskartierung durchgeführt, kann man relativ einfach für jeden Stichprobenpunkt entsprechende Daten gewinnen. Die Hangneigung jedes Punktes wurde sowieso schon erfaßt, also lassen sich unter Hinzuziehung einer geologischen Karte ohne weiters nach der für das anstehende Gestein kritischen Hangneigung Bodenschutzwälder ausscheiden. Lawinenbahnen sieht man am Luftbild hervorragend, es ist das ideale Hilfsmittel zum Ausscheiden von Lawinenschutzwäldern. Durch aktuelle Luftbilder werden neu entstandene Industrieanlagen sofort erfaßt, Immissionsbelastungen naher Siedlungen können beurteilt werden. Im Nahbereich von Städten lassen sich geeignete Flächen als Erholungsschwerpunkte ausscheiden.

Im vorliegenden Fall konnten die Daten über spezielle Waldfunktionen der Karte des MELU Baden-Württembergs entnommen werden. Im Inventurraum ergab sich folgendes Bild der Waldflächen mit besonderer Schutz- und Erholungsfunktion:

Wasser-	Boden-	Lawinen-	Immiss.- Schutz	Bannwald	Schonwald	Erholungs- Wald, Stufe 1
650 ha	8 450 ha	25 ha	450 ha	150 ha	550 ha	475 ha

Bei dieser Aufstellung wurden auch Mehrfach-Funktionen berücksichtigt. Summiert man die Flächen mit einer oder mehrerer dieser Sonderfunktionen, ergeben sich 9 850 ha Schutz- und Erholungswald entsprechend 43,8 % der gesamten Waldfläche des Inventurraumes. Den Hauptanteil bildet mit 8 450 ha der Bodenschutzwald auf den Steilhängen des Schwarzwaldes.

7.1.14 ERFASSUNG VON WALDSCHÄDEN, DARGESTELLT AM BEISPIEL DES SCHÄLSCHADENS DURCH ROTWILD

Der Erfassung von Immissionsschäden, größeren Insekten- oder anderen biotischen Schäden, Waldbrandflächen usw. kommt mit der steigenden Bedeutung des Waldes als Rohstofflieferant und Erholungsraum immer größere Bedeutung zu. Gerade Infrarot-Farbluftbilder und für größere Brandflächen sowie andere großflächige Schäden auch Satellitenbilder geben schnell und exakt Auskunft über die Fläche und das Ausmaß des Schadens. Leider bzw. glücklicherweise trat keiner der genannten Schäden im Untersuchungsgebiet in nennenswertem Umfang auf, so daß die Abschätzung eines Schadens nicht demonstriert werden konnte. Es wird in dieser Hinsicht auf die Literatur von Hildebrandt (1962, 1979), Hildebrandt und Kenneweg (1968, 1970), Kenneweg (1972), Heller (1969, 1971), Murtha (1976, 1978), Rohde (1977) und Caşirici (1978) verwiesen.

Dafür wurde aber der Versuch gemacht, die Schälsschäden an jungen Fichtenbeständen im Rotwildgebiet Südschwarzwald abzuschätzen. In den meisten Fällen sind Stammschäden oder dadurch verursachte Vitalitätsunterschiede nicht auf dem Luftbild erkennbar. So konnten auch bei dieser Inventur keine verlässlichen Luftbildparameter gefunden werden als Indiz für Schälsschäden. Das Luftbild leistete jedoch gute Dienste bei der Ausscheidung und Flächenbestimmung potentiell geschädigter Stangenhölzer und geringer Baumhölzer im Rotwildgebiet Südschwarzwald. Die Grenzen wurden der Rotwildverordnung des MELF Baden-Württemberg (1959) entnommen und in die forstliche Planungskarte 1 : 25 000 eingezeichnet.

Wie in Kap. 5.4 angedeutet, sollte nicht in die Diskussion über Ursachen, Auswirkungen und finanzielle Bewertung von Rotwildschäden eingegangen werden. Ziel der Untersuchung war, welche Flächenanteile der jungen Bestände im Rotwildgebiet Schälsschäden aufwiesen und wieviel Prozent der Stämme geschält waren. Von den insgesamt 1225 ha durch Bodenstichproben erfaßten Stangen- und jungen Baumhölzern wiesen 400 ha $\pm$ 8 % Schälsschäden auf. Die Streuung wurde nach der von Zöhner (1978) für regelmäßige Punkteraster empirisch entwickelten Tabelle ermittelt. In den geschälten Beständen waren durchschnittlich 44,4 % der Stämme ge-

schädigt. Im Durchmesserbereich unterhalb des Grundflächenmittelstammes wiesen 47,3 % aller Stämme Schäden auf, darüber nur 37,2 %. Der Hauptbestand war also etwas weniger geschält als der Nebenbestand. Sämtliche Werte beziehen sich nur auf die durch terrestrische Stichproben erfaßten Bestände.

Der Schälschaden konnte auf Grund des relativ geringen Stichprobenumfanges mit gutem Gewissen nicht weiter nach Alter und Schwere differenziert werden. Wünscht man für ein bestimmtes Gebiet oder ein Inventurmerkmal wie die Rotwildschäden intensivere Aufnahmen, ließe sich die Anzahl der Stichprobenpunkte entsprechend verdichten.

7.1.15 CHARAKTERISIERUNG DES PFLEGEZUSTANDES, dargestellt am Vergleich der tatsächlichen Stammzahl mit der Zielbaumzahl der Durchforstungshilfe A (FVA Baden-Württemberg)

Die Höhe und das Ausmaß der Durchforstungsrückstände sind von großer Bedeutung für die Betriebssicherheit der Bestände und die optimale Nutzung ihres Produktionspotentials. Deshalb wurde in jüngeren Fichtenbeständen (Stangenhölzern, geringen Baumhölzern) die tatsächliche Stammzahl mit der im Merkblatt der FVA (1968, 1972) unter Leitung von Abetz (u.a. 1966, 1970) empfohlenen Zielbaumzahl der Leitkurve A verglichen. Die Differenz wurde in 3 Stufen bezogen auf die tatsächliche Stammzahl ausgedrückt:

Stufe 1	1 - 25 %	überhöhte Stammzahl	
Stufe 2	26 - 50 %	"	"
Stufe 3	> 50 %	"	"

Wie in Kap. 5.4 erwähnt, wurde die Leitkurve A nur als Beispiel einer Durchforstungsrichtlinie aufgefaßt. Für geänderte Stammzahlempfehlungen oder andere Durchforstungskriterien ist das

Inventursystem natürlich flexibel.

Von den 73 terrestrisch aufgenommenen Stichprobenflächen, die in junge Fichtenbestände fielen, lagen 13,7 % in der Stufe 1, 24,7 % in der Stufe 2 und immerhin 23,3 % wiesen mehr als die doppelte Stammzahl der Leitkurve A auf. Übertragen auf alle Fichten-Stangenhölzer und geringen Baumhölzer des Inventurgebietes bedeutet das, bei 700 ha ($\pm 11,6$ %) müßten zwischen 1 und 25 % der jetzigen Stammzahl entnommen werden, um den Richtwerten der Leitkurve A zu entsprechen, bei 1 260 ha ($\pm 6,9$ %) zwischen 25 und 50 % und bei 1 190 ha ($\pm 7,1$ %) über 50 %. Die Streuungswerte ließen sich nach der von Zöhrer (1978) empirisch ermittelten Funktion ableiten.

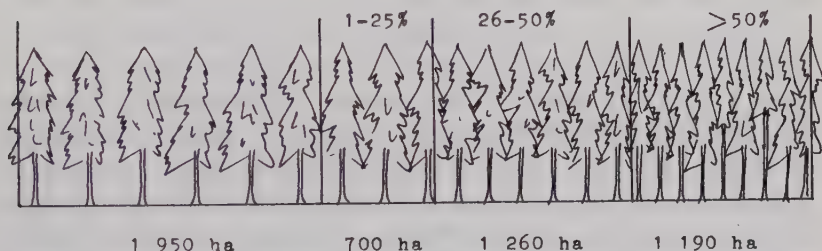


Abbildung 28: Durchforstungsrückstände in % der tatsächlichen Stammzahl bezogen auf die Baumzahl-Leitkurve A

7.2 3-PHASIGES DESIGN, VORRATS- UND ZUWACHSWERTE FÜR DEN GESAMTRAUM

Die bisher genannten Ergebnisse bezogen sich nur auf den mit Luftbildern 1 : 50 000 überdeckten Teil des gesamten Untersuchungsraums. Am Beispiel der beflogenen Streifen, die in diesem Falle als Sub-Inventurgebiet betrachtet wurden, sollten die Möglichkeiten und die Effektivität einer 2-phasigen Stichprobe demonstriert werden. Wie die Ergebnisse in Kap. 7.1 zeigen, ist eine solche 2-phasige Inventurmethode durchaus in der Lage, detaillierte und genaue Informationen auch schon für relativ kleine Inventurgebiete zu liefern. Für größere Räume mit höherem Stichprobenumfang gilt das umso mehr.

Für wirkliche Großräume von einigen 100 000 ha oder mehr empfiehlt sich aus Kostengründen noch das Vorschalten einer 3. Phase unter Verwendung von Satellitenaufzeichnungen. Wie in Kap. 8 erwähnt, betragen die Kosten für Ankauf und Interpretation der Landsat-Aufzeichnungen nur wenige hundert DM. Durch vorherige Interpretation der Satellitenbilder im gesamten zu inventarisierenden Großraum und Konzentration der Befliegung und Feldmessungen auf ausgewählte Stichprobenflächen lassen sich die Inventurkosten auf einen Bruchteil der Kosten einer 2-phasigen Inventur senken. Allerdings sind bei der Verwendung von Landsat-Aufzeichnungen Aussagen nur für Inventurgebiete ab etwa 100 000 ha sinnvoll. Aber Großrauminventuren erstrecken sich naturgemäß auf größere Gebiete, auch bei der österreichischen Waldinventur 1961/70 und der bayrischen Inventur 1970/71 (Braun 1975, Franz 1973) lag die kleinstmögliche Aussageinheit etwa bei 100 000 ha.

Das Prinzip der hier vorgestellten 3-Phasen-Stichprobentechnik ist, auf Grund flächendeckender Landsat-Interpretation einige Sekundärstichproben auszuscheiden, deren Flächen- und Vorratsstruktur durch Luftbildinterpretation und Bodenmessungen (2. und 3. Phase) detailliert zu erfassen und die Ergebnisse aufs Gesamtgebiet hochzurechnen. Diese Hochrechnung erfolgt nach dem pps-Verfahren (Langley 1969) proportional zum Anteil p_i der jeweiligen Sekundärstichprobe (hier Flugstreifen) an der gesamten

Waldfläche des Inventurraumes.

Dabei wird davon ausgegangen, daß der Anteil p_i jeder Sekundär-Stichprobe an der Gesamtwaldfläche auch etwa dem jeweiligen Anteil am Gesamtvorrat entspricht. Homogene Waldstruktur vorausgesetzt repräsentiert z.B. eine Stichprobe von 17 % der Waldfläche auch 17 % des Holzvorrats.

Für die Berechnung des gesamten Vorrats gilt nach Langley (1969):

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{p_i}$$

wobei V = Gesamtvorrat

n = Anzahl der Sekundärstichproben (hier Flugstreifen)

v_i = Vorrat einer Sekundärstichprobe

p_i = Anteil dieser Sekundärstichprobe an der Gesamtwaldfläche

Für differenzierte Aussagen sind Angaben über die Vorräte einzelner Holzarten in jeder Sekundärstichprobe und über die Anteile jeder Sekundärstichprobe an der Gesamtfläche der entsprechenden Holzart im Inventurgebiet nötig. Die Vorräte von Fichte, Tanne, sNh, Buche und sLh jedes Flugstreifens wurde durch Luftbildinterpretation und ergänzende terrestrische Stichproben ermittelt (2-phasiges Verfahren, siehe Kap. 3.5 und 7). Informationen über die Anteile der Flugstreifen an der Gesamtfläche verschiedener Holzarten bzw. Holzartengruppen ließen sich auf Landsat-Aufzeichnungen gewinnen (siehe dazu Kap. 5.1). Bei der kleinflächigen Holzartenmischung im Inventurgebiet schien es zweckmäßig, auf den Satellitenaufzeichnungen nur 2 Hauptgruppen auszuscheiden: die Klasse Nadelholz (99 % Fichte und Tanne) und die Klasse Laubholz (88 % Buche). Die Holzvorräte wurden getrennt nach Nadelholz und Laubholz ermittelt, wobei die Hochrechnung der Fichten-, Tannen- und sonstigen Nh-Vorräte proportional zum Anteil jedes Flugstreifens an der Nadelholzfläche (Landsat-Klassifizierung), die der Buche und sLh-Vorräte proportional zum Anteil an der Laubwaldfläche des Inventurgebietes erfolgte.

Für die holzartenweise Berechnung der Vorräte gilt in Anlehnung an Langley (1969)

$$\text{für Fichte, Tanne und sNh: } V_{Fi(Ta, sNh)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_{iFi}(Ta, sNh)}{p_{iNh}}$$

wobei $V_{Fi(Ta, sNh)}$ = Fi, Ta oder sNh-Vorrat des Inventurgebietes
 n = Anzahl der Sekundärstichproben
 $v_{iFi}(Ta, sNh)$ = Fi, Ta oder sNh-Vorrat einer Sekundärstichprobe
 p_{iNh} = Anteil dieser Sekundärstichprobe an der gesamten Nh-Fläche des Inventurgebietes

$$\text{für Buche und sonst. Lh: } V_{Bu(sLh)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_{iBu}(sLh)}{p_{iLh}}$$

wobei $V_{Bu(sLh)}$ = Buchen- oder sonst. Lh-Vorrat des Inventurgebietes
 $v_{iBu}(sLh)$ = Buchen- oder sonst. Lh-Vorrat einer Sekundärstichprobe
 p_{iLh} = Anteil dieser Sekundärstichprobe an der gesamten Lh-Fläche des Inventurgebietes

Die Holzvorräte der genannten Baumarten wurden also von den Sekundärstichproben aufs Gesamtgebiet hochgerechnet, in dem man die Stichprobenvorräte v_{iFi} , v_{iTa} und v_{isNh} auf das gesamte Nadelholzstratum und v_{iBu} und v_{isLh} aufs gesamte Laubholzstratum bezog.

Die Varianz einer solchen pps-Rückrechnung beträgt nach Langley (1969)

$$S_v^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \left(\frac{v_i}{p_i} - v \right)^2$$

wobei S_v = Standardabweichung der Vorratsschätzung

Jedes Verhältnis $\frac{V_i}{P_i}$ repräsentiert den Gesamtvorrat des Inventurgebietes. Besteht zwischen der Hilfsvariablen Waldfläche und dem Vorrat der entsprechenden Holzart eine ausreichende Korrelation, streuen diese Verhältnisse weitaus weniger um ihr arithmetisches Mittel V als z.B. systematisch ausgelegte Stichprobenflächen (Hansen, Hurwitz, Madow 1964; Langley 1969). Die Streuung ist also nicht abhängig vom Stichprobenumfang, sondern nur davon, wie genau jedes Verhältnis $\frac{V_i}{P_i}$ den Gesamtvorrat V repräsentiert. Dadurch wird auch erklärbar, wieso bei einer nach diesem System durchgeführten Waldinventur im Süden der USA von 2,4 Millionen ha für einen Repräsentationsfehler der Vorräte von 13 % nur 2,4 ha terrestrisch vermessen werden mußten (Langley 1969).

Außer den Holzvorräten wurden auch der laufende Zuwachs für Fichte und die genaue Holzbodenfläche der Sekundärstichproben aufs Gesamtgebiet hochgerechnet. Die Zuwachs- und Flächenwerte jedes Stichprobenstreifens wurden ebenso wie die Holzvorräte in einem 2-phasigen Verfahren unter Einbeziehung von Luftbildern 1 : 50 000 und terrestrischen Messungen ermittelt (siehe Kap. 3,5 und 7). Die verwendeten Formeln lauten

$$\text{für LZ Fichte} \quad : \quad LZ_{Fi} = \frac{1}{n} \sum \frac{Lz_{iFi}}{P_{iNh}}$$

wobei

LZ_{Fi} = gesamter LZ für Fichte im Inventurgebiet

Lz_{iFi} = LZ Fichte einer Sekundärstichprobe

P_{iNh} = Anteil dieser Sekundärstichprobe an der gesamten Nh -Fläche des Inventurgebiets

$$\text{für die Holzbodenfläche} : HBF = \frac{1}{n} \sum \frac{hbf_i}{P_i}$$

wobei

HBF = Holzbodenfläche des Inventurgebietes

hbf_i = Holzbodenfläche einer Sekundär-

stichprobe
 p_1 = Anteil dieser Sekundärstichprobe an
 der gesamten als "Wald" klassifizier-
 ten Fläche des Inventurgebietes
 (Landsat-Klassifizierung)

Sämtliche hier genannten Vorrats-, Zuwachs- und Flächenwerte der beiden als Sekundärstichproben beflogenen Streifen wurden entsprechend der am ISI-System gemessenen p_{iNh} - und p_{iLh} -Werte (siehe Tab. 1) aufs Gesamtgebiet hochgerechnet. Die Ergebnisse und Standardabweichungen zeigt Tab. 10.

Tabelle 10: Vorrats- und Zuwachswerte des gesamten Inventurgebietes (3-phasige Stichprobe)

		Standardabweichung (95% Sicherheit)	
Holzbodenfläche in ha	53 278	±	1,0 %
Vfm Fichte	14 936 870	±	1,4 %
Vfm Tanne	2 726 780	±	48,4 %
Vfm sNh	167 920	±	20,8 %
Vfm Buche	2 847 670	±	1,8 %
Vfm sLh	446 440	±	1,2 %
1Z Fichte in Vfm	472 390	±	6,5 %

Zunächst einmal fallen die heterogenen Streuungswerte ins Auge. Die Gesamtwaldfläche, der Fichten-, Buchen- und sLh-Vorrat wiesen nur eine Streuung von 1 - 2 % auf, während bei Tanne und den sonstigen Nadelhölzern die Streuungswerte ganz erheblich sind.*

* Die genannten Streuungswerte stellen theoretisch mögliche Maxima dar. Die tatsächliche Abweichung ist meist wesentlich geringer, wie auch der Vergleich der bei dieser Inventur ermittelten Tannenvorräte mit den entsprechenden Werten der Forsteinrichtung zeigt (siehe Tab. 11)

Einmal wird demonstriert, wie weit sich durch Mehrphasen-PPS-Stichproben die Streuung einer Inventur herabdrücken läßt, wenn die Flächenanteile p_i der Satellitenbilddauswertung in etwa den wirklichen Flächenanteilen bzw. den Vorrats- und Zuwachsanteilen entsprechen. Mit nur 320 Bodienstichproben entsprechend 40 Arbeitstagen eines 2-Mann Meßtrupps ließen sich die aktuelle Waldfläche, die Fichten-, Buchen- und sonstigen Laubholzvorräte eines Waldgebietes von 53 300 ha mit einer Genauigkeit von $\pm 1 - 2 \%$ schätzen. Der 12 Fichte wurde mit $\pm 6,5 \%$ Streuung erfaßt.

Zum anderen konnten auch die Gefahren der pps-Stichprobentechnik aufgezeigt werden. Besteht zwischen den Flächenanteilen p_i und den Vorräten v_i einer Holzart oder Holzartengruppe keine ausreichende Korrelation, z.B. weil eine Baumart ungleichmäßig auf die betreffende Flächenkategorie verteilt ist, kann die Streuung wesentlich über den Werten anderer Inventurverfahren liegen. Die Streuungswerte waren bei Tanne und den sonstigen Nh deshalb so hoch, weil diese Baumarten ungleichmäßig im Stratum "Nadelholz" verteilt waren.

Bei einer 3-phasigen Großrauminventur unter Einbeziehung von Satellitenaufzeichnungen muß deshalb großer Wert darauf gelegt werden, einen straffen Zusammenhang zwischen den Vorräten der einzelnen Holzarten und möglichst detaillierten Flächenkategorien auf den Satellitenbildern zu erreichen. Daß es ggf. möglich ist, auch Kiefern-, Douglasien- und Tannenbestände auf Satellitenaufzeichnungen zu identifizieren, hat Carneiro (1978) an Testflächen im Schwarzwald und Oberrheintal gezeigt. Verhindern kleinflächige Waldstruktur und Mischbestände ein Ausscheiden differenzierter Flächenkategorien, bietet sich an, die Vorräte vergleichbarer Holzarten zusammenzufassen (z.B. Tanne und Fichte).

Auch beim 3-phasigen Verfahren können Vorräte und Zuwachs natürlich differenziert werden nach Sortimenten, Besitzverhältnissen, Altersklassen usw. Als Referenz dienen hierfür die Daten der Sekundärstichproben. Im vorliegenden Fall wurde eine nochmalige Aufschlüsselung von Vorrat und Zuwachs unterlassen, da die 3-phasige Inventurversion in dieser Hinsicht eine methodische Variante

der 2-phasigen ist bei gleichen Ergebnissen. Bezüglich detaillierter Angaben über die Waldstruktur sei deshalb auf Kap. 7.1 verwiesen.

7.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER 3-PHASEN-STICHPROBENINVENTUR UND DER ENTSPRECHENDEN FORSTEINRICHTUNGSDATEN

Neben der statistischen Fehlerrechnung sollten die Inventurergebnisse der 3-Phasen-Stichprobe noch einer weiteren Prüfung unterzogen werden. Eine Vollaufnahme der 53 000 ha großen Waldfläche schied aus technischen Gründen aus. Die einzige Möglichkeit bot ein orientierender Vergleich mit den Daten der Forsteinrichtung. Von einer solchen Gegenüberstellung wurden auch vorsichtige Rückschlüsse auf die Qualität der Forsteinrichtungsdaten erwartet. Ein direkter Vergleich von Inventur- und Einrichtungsdaten war leider nicht möglich, da für beide Erhebungen unterschiedliche Methoden verwendet wurden, auch stimmten die Stichtage nicht überein. Außerdem lagen Forsteinrichtungsdaten nur für 53 % der Waldfläche vor und mußten auf den Gesamt-raum extrapoliert werden. Ein Vergleich der Größenordnungen beider Daten dürfte aber trotzdem interessant sein. Tab. 11 gibt eine Übersicht aller Großrauminventur- und Forsteinrichtungsdaten.

Die wichtigste Aussage von Tab. 11 ist, daß die Daten über Waldfläche, Holzartenstruktur und dGz bei beiden Erhebungen weitgehend übereinstimmen, während durch die Großrauminventur deutlich höhere Holzvorräte als bei der Forsteinrichtung festgestellt wurden. Die Holzbodenfläche der 3-Phasen-Inventur wich nur um 0,5 % von der im Forststatistischen Jahrbuch 1978 angegebenen Fläche ab. Das spricht eindeutig für eine Eignung von Satellitenaufnahmen in Verbindung mit Luftbildern und terrestrischen Stichproben zur Waldflächenüberwachung auch in Mitteleuropa.

Während die Vorratsstruktur nach Holzarten weitgehend den Angaben der Forsteinrichtung entsprach, traten bei der Vorratshöhe teilweise erhebliche Unterschiede auf. Die Ergebnisse der hier durchgeführten Großrauminventur lagen etwa um 30 % über

den Werten der Forsteinrichtung. Dieses Ergebnis kam an sich nicht überraschend. Schon immer tendierte die Forsteinrichtung zur Sicherung der Nachhaltigkeit und aus einer Reihe anderer Gründe zur vorsichtigen Einschätzung der Vorräte und Zuwüchse. Dies wurde auch bei der bayrischen Waldinventur 1970/71 deutlich (FVA München 1973), die dortigen Vorratswerte je Hektar lagen in Fichtenbeständen um 20 - 30 % über denen der Forsteinrichtung. Die hier vorliegende Inventur kommt in der Größenordnung zu gleichen Ergebnissen, die ermittelten Fichtenvorräte differierten um stark 30 % von den Angaben der Forsteinrichtung (siehe Tab. 11).

Ein gewisser Teil der Vorratsdifferenzen kann auch dadurch erklärt werden, daß sich auf den von der Forsteinrichtung nicht erfaßten Brachflächen und ehemaligen Weidfeldern in den letzten Jahrzehnten ein nicht zu vernachlässigender Holzvorrat angesammelt hat.

Außerdem ergab sich bei der Zusammenstellung der Einrichtungsergebnisse eine leichte Unterschätzung der Vorräte im Privatwald, da aus Mangel an eigenen Einrichtungswerken bei diesen Flächen mit Hektarwerten des Staats- und Kommunalwaldes gerechnet wurde. Wie Kap. 7.1.9 zeigt, liegen jedoch die Vorräte je ha im Privatwald über denen im Staats- und Kommunalwald.

Es fällt in Tab. 11 auf, daß die Laubholzvorräte beider Erhebungen stärker voneinander abweichen als die Nadelholzvorräte. Ein Grund dafür wäre, daß bei der Großrauminventur sämtliche Laubhölzer erfaßt wurden, auch Bestände in Steil- und Steilstlagen und Bäume von minderer Stammqualität. Die Forsteinrichtung dagegen dürfte etwas nutzungsorientierter vorgegangen sein. Für praxisorientierte Aussagen müßten noch Daten über ökonomische Zugänglichkeit der Bestände und Holzqualität berücksichtigt werden. Siehe dazu auch Kap. 7.1.12. Das Nadelholz konzentrierte sich mehr auf flachere Hänge und wies keine so ausgeprägten Qualitätsunterschiede auf.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Ergebnisse der 3-Phasen-Inventur und der Forsteinrichtungsdaten

	Großrauminventur	Forsteinrichtung	Differenz in % der Großrauminventur
Holzbodenfläche	53 278 ha	53 534 ha	+ 0,5 %
Nh-Anteil (Fläche/Vfm)	80,8 %/84,4 %	79,2 %/86,7 %	- 1,6 %/+ 2,3 %*
Lh-Anteil (Fläche/Vfm)	19,2 %/15,6 %	20,8 %/13,3 %	+ 1,6 %/- 2,3 %
Vfm-Anteil Fichte	70,7 %	69,2 %	- 1,5 %
Tanne	12,9 %	15,4 %	+ 3,5 %
sNh	0,8 %	1,1 %	+ 0,3 %
Buche	13,5 %	12,1 %	- 1,4 %
sLh	2,1 %	1,2 %	- 0,9 %
Vorräte in Vfm:			
Fichte	14 936 870	9 978 610	- 33,2 %
Tanne	2 726 780	2 370 720	- 13,1 %
sNh	167 920**	156 250	
Buche	2 847 660	1 749 810	- 38,6 %
sLh	446 440**	171 110	
Nh _{ges.}	17 831 570	12 505 580	- 29,9 %
Lh _{ges.}	3 294 100	1 920 930	- 41,7 %
Vfm _{ges.}	21 125 670	14 426 510	- 31,7 %
Vorräte/ha			
Staat	381 Vfm	281 Vfm	- 26,2 %
Kommunal	390 Vfm	255 Vfm	- 34,7 %
Privat	414 Vfm	--	
Zuwachsdaten Fichte			
dGZ ₁₀₀	9,0	8,0	
LZ _{ges.}	472 390 Vfm	295 230 Vfm	- 37,5 %

* %-Werte bezogen auf Gesamtfläche

** nur orientierende Angaben

Die Vorratswerte je ha der einzelnen Waldbesitzarten ähnelten denen der bayrischen Waldinventur für Bestände mit Hauptbaumart Fichte (FVA München 1973). Hier wie dort lagen die Forsteinrichtungswerte um 20 - 30 % unter den Inventurwerten, wobei im Staatswald der ha-Vorrat am niedrigsten und im Privatwald am höchsten war:

Südschwarzwald			Bayern	
	Inventurwerte	FE-Werte	Inventurwerte	FE-Werte
Staatswald	381 Vfm/ha	281 Vfm/ha	358 Vfm/ha	303 Vfm/ha
Kommunalwald	390 Vfm/ha	255 Vfm/ha	394 Vfm/ha	293 Vfm/ha
Privatwald	414 Vfm/ha	--	501 Vfm/ha	365 Vfm/ha

Die hohen ha-Werte in Privatwaldbeständen und auch im Kommunalwald sind im wesentlichen auf ein höheres Bestandesdurchschnittsalter zurückzuführen.

Dem dGz-Wert der Forsteinrichtung von 8 entsprach erwartungsgemäß ein tatsächlicher dGz von 9 für Fichte. Vor allem jüngere Bestände werden bei der Einrichtung meist etwas vorsichtig bonitiert. Nach dem Konzept der Wuchsreihe von Magin (1960, 1963) war es möglich, die Gesamtwuchsleistung auch durch eine einmalige Inventur repräsentativ zu schätzen. Sie lag bei Fichte bis zum Alter 130 bei 1 138 Vfm, was ziemlich genau einem dGz₁₀₀ von 9 entspricht.

Der durch Bohrspanentnahme über das Massenzuwachsprozent ermittelte lZ Fichte lag mit 472 390 Vfm deutlich über den Ertragstafelschätzungen der Forsteinrichtung von 295 230 Vfm. Ein Grund ist die leichte Unterbonitierung der Forsteinrichtung. Der größte Teil der Differenz ist jedoch darauf zurückzuführen, daß die tatsächlichen Vorräte der Zuwachsstarken jungen Altersklassen weit über den Ertragstafelwerten liegen (siehe dazu Kap. 7.1.9 und 7.1.15). "Die Herleitung des laufenden Zuwachses mit

Hilfe von Ertragstafeln, wie es in der deutschen Forsteinrichtung der Länder der Bundesrepublik üblich ist, muß alles in allem als Notbehelf angesehen werden" (Hildebrandt 1967). Hier könnte für Großrauminventur die vorgeschlagene Methodik sicher Abhilfe schaffen.

Eine Großrauminventur soll nun keineswegs dazu dienen, die letzten aus Sorge um den Wald zurückgehaltenen Vorräte aufzuspüren und eine maximale Nutzung zu propagieren. Sie soll vielmehr forstlichen Planungsstellen auf höherer Ebene zuverlässige Informationen liefern über die tatsächlichen Vorrats- und Zuwachsverhältnisse und eine gezielte Reservepolitik ermöglichen. Eine leichte Erhöhung der Produktivität des Waldes zur Rohstoffherzeugung und zur Lieferung regenerierbarer Energie ist dabei nicht ausgeschlossen.

Es hat sich gezeigt, daß eine mehrphasige Waldinventur durchaus in der Lage ist, auch für mitteleuropäische Verhältnisse detaillierte und genaue Informationen zu liefern. Der Aufwand ist dabei beträchtlich geringer als bei herkömmlichen terrestrischen Verfahren. Bei der Bayern-Inventur 1970/71, die sich ausschließlich auf terrestrische Erhebungen stützte, betrug der Zeitaufwand allein für die Meßtrupps 540 Mannjahre (FVA München 1973). Bei der 3-Phasen-Inventur von 53 000 ha Schwarzwald waren für die terrestrischen Messungen nur 4 Mannmonate nötig. Umgerechnet auf die Waldfläche Bayerns wären das 13 Mannjahre, ungeachtet weiterer Extensivierung der Stichproben durch Anwendung des pps-Verfahrens auf großer Fläche.

Detailliertere Angaben über Aufwand und Kosten des hier vorgestellten Inventurverfahrens gibt das folgende Kap. 8.

8. AUFWAND UND KOSTEN DER INVENTUR

Die Vorstellung eines Inventurverfahrens wäre unvollständig ohne Angaben über Aufwand und Kosten. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Entwicklungsarbeit stand zwar eine exakte Kostenanalyse nicht im Vordergrund, auch konnten hier nicht sämtliche bei der operationellen Durchführung anfallenden Kosten berücksichtigt werden. Kap. 8 soll dennoch als ergänzende Information eine Übersicht der angefallenen Kosten geben.

Die hier genannten Kosten beinhalten Beschaffung der Satellitenaufzeichnungen, Luftbilder und Karten, ihre Interpretation, Auswahl und Vermessen der Bodenstichproben sowie den Aufwand für die Datenverarbeitung. Der zugrundegelegte Aufwand entspricht dem tatsächlich angefallenen Inventuraufwand abzüglich reiner Entwicklungsarbeiten für statistische Methoden und EDV. Rationelleres Arbeiten ist sicher noch möglich.

Sämtliche Kosten beziehen sich auf den Stand von 1978/79, eine Arbeitsstunde wurde mit DM 22,-- (entsprechend BAT IIa inklusiv Soziallasten) angenommen.

Der Gesamtaufwand setzte sich folgendermaßen zusammen:

Aufwand und Kosten der Satellitenbild-Interpretation

Kaufpreis für photographische Darstellung einer Landsat-Szene (4 Spektralbereiche)		DM	120,--
vorbereitende Arbeiten, Erstellen der Kopien 1 : 600 000, Einzeichnen des Inventurgebietes, analoge Klassifizierung, pps-Auswahl der Flugstreifen	3 Tage à 8 Stunden	DM	530,--
	zusammen	DM	650,--

Aufwand und Kosten für Luftbildherstellung und Interpretation

Befliegung von 37 500 ha im Maßstab 1 : 50 000 mit IRC-Film und Lieferung eines Satzes Luftbilder (Diapositive)		DM	6.600,--
Berechnen und Herstellen des orthogonalen Punkterasters (Koordinaten und Höhenwerte ablocken, Paßpunkte bestimmen, Orientierungselemente berechnen, Koordinatentransformation und Zeichnen der Folien	4 Tage	DM	700,--

Rechenkosten incl. elektronische Zeichen-
anlage (ca. 100 DM/Bild)

DM 700,--

Vorarbeiten, Interpretation der Luftbil-
der (eingearbeiteter Interpret), Entnahme
der nötigen Karteninformationen

10 Tage

DM 1.760,--

zusammen

DM 9.760,--

Die Gesamtkosten der analogen Satellitenbild-Interpretation be-
liefen sich also auf DM 650,--, die der Befliegung auf DM 6.600,--
und die der Interpretation einschließlich Erstellen des ortho-
gonalen Punktegitters auf DM 3.160,--. Bei 1 475 Luftbild-Stich-
probenpunkten entstanden also Interpretationskosten in Höhe von
DM 3.160,-- : 1 475 = DM 2,15 je Punkt.

Bei den terrestrischen Messungen fielen an:

Für Aufsuchen, Vorrats- und Zuwachsmessung von
320 Bodenstichproben (durchschnittlich 8 pro Ar-
beitstag eines 2-Mann Meßtrupps)

4 Monate

DM 14.100,--

an Reisekosten (tatsächlich entstandene Fahrt-
und Verpflegungskosten)

DM 2.300,--

zusammen

DM 16.400,--

Bei 320 terrestrischen Stichprobenflächen entspricht das etwa
DM 50,-- je Probe. Das Kostenverhältnis zwischen Luftbild- und
Bodenmessungen betrug also etwa 1 : 25.

Bei Inventuren in größerem Stil läßt sich sicher die Erstellung
des orthogonalen Punkterasters noch rationalisieren, so daß die
Kosten eines Luftbildpunktes noch etwas sinken dürften.

Für die Datenverarbeitung entstanden folgende Kosten:

Berechnen der Vorräte und des Zuwachses aus
Kluppliste und Hilfstafel für die Forstein-
richtung

4 Tage

DM 700,--

Ablocken der Ergebnisse

2 Tage

DM 350,--

Rechenarbeiten

2 Tage

DM 350,--

Computer-Rechenzeit

30 Minuten

DM 200,--

zusammen

DM 1.600,--

Interessant wären noch die Zahlen über die anfallenden Kosten je ha bei operationeller Durchführung einer mehrphasigen Stichprobeninventur. Für Organisation, Logistik und Abschreibung der Geräte entstehen sicher noch weitere Kosten als die oben aufgeführten. Als Orientierung sollen hier aber nur die Kosten für Herstellung und Interpretation der Satelliten- und Luftbilder, für die Bodenmessungen und die Datenverarbeitung berücksichtigt werden.

Legt man die in Kap. 7.1 errechneten optimalen Verhältnisse von Luftbild- und Bodenstichproben, die Waldfläche und Bestandesstruktur des Testgebietes und die Preise von 1978/79 zu Grunde, ergeben sich für ein 2-phasiges Design folgende ha-Kosten: Bei einer Waldfläche von 22 500 ha wären ca. 1 200 Luftbild- und 200 Bodenstichproben nötig, um die Vorräte holzartenweise unter 5 % Streuung zu erfassen. Der 12 Fichte würde dabei noch mit einer Genauigkeit von etwa 6 % ermittelt werden.

An Befliegungskosten entstehen		DM	6.600,--
für Luftbildinterpretation einschließlich Erstellen des Punkterasters	1.200 x DM 2,15	DM	2.600,--
für Bodenmessungen	200 x DM 50,--	DM	10.000,--
für Datenverarbeitung		DM	1.600,--
	zusammen	DM	20.800,--

Pro Hektar wären das DM 0,92. Bei größeren Inventurgebieten sinken die ha-Kosten entsprechend ab, da ja die Anzahl der nötigen Stichproben bis zu einem gewissen Grade flächenunabhängig ist.

Die ha-Belastung bei der bayrischen Inventur 1970/71 lag zwischen DM 3,-- und DM 4,--. Ein direkter Vergleich ist natürlich unzulässig auf Grund abweichender Inventurmerkmale und Aussageeinheiten. Es läßt sich aber doch erkennen, daß luftbildgestützte mehrphasige Stichprobenverfahren bei gleicher Genauigkeit die Inventurkosten erheblich senken können.

Bei der 3-phasigen Version ist zu sagen, daß die Vorteile einer satellitenbild-gestützten Inventurmethode erst ab einer bestimmten Mindestfläche voll zum Tragen kommen. Im vorliegenden Test-

gebiet mit einer Waldfläche von 53 300 ha ist die Kostenbelastung je ha zwar wesentlich geringer als bei der 2-phasigen Version, aber immer noch relativ hoch.

Bei einem optimalen Design würden unter Zugrundelegen der genannten Voraussetzungen folgende Kosten entstehen:

für Beschaffung und Auswertung der Satellitenaufzeichnungen	DM 650,--
für Befliegung einiger Sekundärstichproben mit IRC-Luftbildern 1 : 50 000	DM 6.600,--
für Luftbildinterpretation	DM 2.600,--
für Bodenmessungen	DM 10.000,--
für Datenverarbeitung	DM 1.600,--
zusammen	DM 21.500,--

Das entspricht DM 0,40 pro ha.

Obwohl diese Kostenübersicht nur orientierenden Charakter haben soll, wird doch deutlich, daß sich durch Einbeziehung der Fernerkundung der Inventuraufwand gegenüber rein terrestrischen Verfahren stark reduzieren läßt. Eventuell würde dadurch eine Großrauminventur auch in Gebieten interessant werden, wo man bisher aus Kostengründen davon Abstand genommen hat.

9. ZUSAMMENFASSUNG UND ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNGEN

Mit dieser Arbeit sollte ein Beitrag geleistet werden, für forstwirtschaftliche und forstpolitische Entscheidungen auf regionaler und nationaler Ebene ein geeignetes Waldinventurmodell zu entwickeln. Die Herleitung verdichteter Informationen aus den Forsteinrichtungsdaten findet dort ihre Grenze, wo nur für Teilgebiete solche Daten überhaupt vorliegen, diese nach unterschiedlichen Methoden und Eigentümerzielsetzungen erfaßt bzw. nur geschätzt werden, die Aufnahme mehr oder weniger lang zurückliegt und keine Fehlerrahmen der Ergebnisse angegeben werden können.

Deshalb schien es sinnvoll, ein operationelles Waldinventurmodell zu entwickeln, das einmal repräsentative detaillierte Informationen liefert, möglichst geringe Zusatzkosten verursacht und dazu noch praxisrelevant und anwendungsfreundlich ist.

Diesen Anforderungen kam die vorgeschlagene Mehrphasen-Stichprobentechnik, gestützt auf Landsat-Daten, Luftbilder und Bodenmessungen recht nahe. Durch Vorschalten der Satellitenbilder als übergeordnete Inventurphase und Anwendung der pps-Stichprobentechnik konnten die intensiven Auswertearbeiten auf wenige walddreiche Flächen konzentriert werden, was die Kosten bei gleichbleibender Genauigkeit stark reduzierte. Durch Übertragen eines orthogonalen Punktegitters auf die Luftbilder, wobei jeder Punkt einen umfangreichen Satz für die Inventurfragestellungen relevanter Daten erhielt und ein selbständiges Inventurelement bildete, ließen sich detaillierte Informationen zusammenstellen. Mittels Regressionen zwischen Luftbildvariablen und terrestrisch ermittelten Vorräten sowie dem Zuwachs ließen sich die Bodenmessungen auf wenige Stichproben reduzieren. Die Verwendung nicht an feste Flächen gebundener Auswertemethoden ersparte dabei die aufwendige und problematische Flächenübertragung vom Luftbild ins Gelände. Der Aufwand für die Datenverarbeitung konnte durch bewußte Verwendung einfacher Statistiken und vorhandenen Standardprogrammen niedrig gehalten werden.

Bei einer Kostenbelastung von nur DM 0,50 bis DM 1,00 je Hektar (je nach Größe der Befundeinheit und Zahl der Phasen) ließen sich die Vorräte der Hauptbaumarten mit einem Fehler unter $\pm 5 \%$

aufnehmen, die tatsächliche Gesamtwuchsleistung und der laufende Zuwachs für Fichte berechnen, Einblicke in die Flächen- und Vorratsstruktur der Wälder gewinnen, die Flächen mit besonderer Schutz- und Erholungsfunktion abschätzen, orientierende Untersuchungen zur Erfassung von Rotwildschäden durchführen und Durchforstungsrückstände aufzeigen.

Entwickelt und erprobt wurden ein zwei- und ein dreiphasiges Stichprobendesign, deren Grundzüge im folgenden nochmals zusammengefaßt werden sollen:

Das zweiphasige Verfahren unter Verwendung von kleinmaßstäblichen Luftbildern und Bodenstichproben eignet sich auch für kleinere Inventurräume ab etwa 20 000 ha. Die gesamte Fläche wird mit Infrarot-Farbluftbildern im Maßstab 1 : 50 000 beflogen. Ob sich die benötigten Bildinformationen aus Kostengründen auch auf Schwarzweiß-Luftbildern gewinnen lassen, müßte noch geprüft werden. Auf die Luftbilder überträgt man ein orthogonales Punkteraster; die Anzahl der nötigen Punkte wird vorher auf Grund von kleinster gewünschter Befundeinheit, Waldstruktur, Kostenverhältnis und Korrelation zwischen Luftbild- und Bodenbeobachtungen kalkuliert. Jeder dieser Stichprobenpunkte erhält durch Luftbild- und Karteninterpretation einen kompletten Datensatz bezüglich Holzart, Kronenschlußgrad, Altersklasse, Rückedistanz, eventuelle Schäden, Waldbesitz, Relief- und Standortsverhältnissen, Waldfunktion, Koordinaten, Geländehöhe und/oder anderer gewünschter Inventurmerkmale.

Nach Kostenverhältnis und Korrelation zwischen Luftbild und Bodenmessung bestimmt man die Anzahl der nötigen Stichprobenpunkte, die im Gelände aufgesucht und vermessen werden. An jedem Bodenpunkt werden 2 Winkelzählproben im Abstand von 30 m aufgenommen, die gezählten Bäume werden gekluppt und je Holzart 2 bis 3 Höhenmessungen und eine Zuwachsbohrung im Bereich des jeweiligen Grundflächenmittelstammes durchgeführt. Weitere Inventurkriterien sind Stamm- und Kronenschäden, Schaftgüte, Gelände-merkmale usw., die Liste kann nach Belieben erweitert werden.

Auf Grund dieser Bodenmessungen lassen sich entsprechende Regressionen mit den Luftbildvariablen aufstellen und holzartenweise die Vorräte sowie laufender Zuwachs für alle Luftbildstich-

proben berechnen. Da jeder Bildpunkt einen kompletten Datensatz besitzt und ein selbständiges Inventurelement darstellt, können die Vorrats- und Zuwachswerte aufgeschlüsselt werden nach Besitzart, Altersklasse, Sortimenten, Rückeentfernung usw. sowie Aussagen über Schäden und Pflegezustand abgeleitet werden.

Die dreiphasige Version unter Einbeziehung von Satellitenaufzeichnungen ist vor allem für größere Inventurräume ab etwa 100 000 ha geeignet. Auf den Satellitenbildern wird die Waldfläche so detailliert wie möglich klassifiziert, zumindest nach Laub- und Nadelwald. Die Auswertung kann dabei analog oder digital erfolgen. Der gesamte Inventurraum wird auf den Satellitenbildern in primäre Stichprobeneinheiten unterteilt, zweckmäßigerweise in potentielle spätere Flugstreifen. Für jede primäre Stichprobe ermittelt man die Anteile an der Gesamtfläche der ausgeschiedenen Waldtypen. Mit der Auswahlwahrscheinlichkeit proportional zu ihrer Waldfläche lost man einige dieser Streifen aus und befliegt sie mit kleinmaßstäblichen Infrarot-Farbluftbildern.

Das Stichprobendesign und die Auswertung der 2. und 3. Phase von Luftbildinterpretation und terrestrischen Messungen ist identisch mit dem Vorgehen bei der 2-phasigen Inventurversion. Bei der 3-Phasen-Stichprobe werden allerdings die Ergebnisse nicht für die gesamte beflogene Fläche zusammengestellt, sondern nach Hauptbaumarten für jeden Flugstreifen getrennt. Proportional zum Anteil des Streifens an der Gesamtfläche jeder ausgeschiedenen Holzart bzw. Holzartengruppe lassen sich so Vorräte und Zuwachs aufs Gesamtgebiet hochrechnen.

Durch die pps-Auswahl einiger Sekundärstichproben und die Hochrechnung der Ergebnisse aufs Gesamtgebiet läßt sich der Inventuraufwand stark reduzieren. Allerdings steht und fällt dieses Verfahren mit der Korrelation zwischen Satelliteninterpretation und Zielvariablen. Entspricht der tatsächliche Anteil eines Streifens am Gesamtvorrat einer Holzart ziemlich genau seinem entsprechenden Flächenanteil bei der Satellitenbild-Klassifikation, ist die Streuung minimal. Weichen aber diese Anteile mehr oder weniger stark voneinander ab, kann die Streuung weit über den Werten anderer Inventurverfahren liegen. Eine möglichst detaillier-

te Flächenklassifikation auf den Satellitenaufzeichnungen ist deshalb Voraussetzung für eine baumartenweise Erhebung der Vorräte.

Bei großflächigen Reinbeständen ist die Klassifizierung auf Satellitenaufzeichnungen relativ einfach. Schwieriger wird es bei Einzel- oder Gruppenmischung verschiedener Baumarten; die Abbildungsqualität der Landsat-Aufzeichnungen reicht hier für eine Differenzierung oft nicht aus. Eventuell eröffnen Satelliten der nächsten Generation bei besserer Grund- und spektralen Auflösung weitere Möglichkeiten der Klassifizierung. Für die Praxis lassen sich solange in mehrphasigen Verfahren die Vorräte einzelner Holzarten als brauchbare Näherung auch über die Flächenanteile globaler Baumartenklassen herleiten oder es werden Mischgruppen vergleichbarer Arten gebildet.

Auf jeden Fall wären aber weitere Forschungsarbeiten zur Erkennung von Baumarten auf Satellitenaufzeichnungen wünschenswert.

Die 2-phasige Stichprobe mit kleinmaßstäblichen Luftbildern 1 : 50 000 und ergänzenden Bodenmessungen ist heute schon ein praxisreifes Verfahren. Mit ihm können sämtliche, auch bei rein terrestrischen Inventuren aufgenommenen Merkmale erfaßt, zu detaillierten Informationen verarbeitet und für ideelle und geographische Befundeinheiten zusammengestellt werden. Neue Inventurkriterien, Sortierungen oder Durchforstungshilfen können ohne weiteres ins System aufgenommen werden. Die Kosten dieses Verfahrens liegen weit unter denen rein terrestrischer Methoden.

Speziell für permanente Waldinventuren wäre noch eine modifizierte 3-phasige Listenstichprobe denkbar, gestützt auf die Ergebnisse früherer Großrauminventuren, erneuter Befliegung und Luftbildinterpretation einiger Sekundärstichproben sowie ergänzende Bodenmessungen. Dazu wird der Inventurraum (Region, Nation) in permanente primäre Stichprobeneinheiten aufgeteilt und jedes Jahr eine bestimmte Anzahl davon in einem 2-phasigen Verfahren inventarisiert. Ist der Inventurzyklus geschlossen, beginnt man wieder mit Streifenserie 1 usw. (siehe dazu Hildebrandt 1973).

Auf diese Weise erhält man ständig aktualisierte Informationen und kann für jede Primärstichprobe den exakten Anteil an Gesamtfläche und Vorrat jeder beliebigen Holzart angeben, aufgeschlüsselt

selt nach Waldbesitz, Altersklasse, Wuchsgebiet, Waldschäden und anderen Kriterien. Basierend auf diesen Proportionen lassen sich jährlich von einzelnen Sekundärstichproben auch sehr komplexe Informationen hochrechnen. Die Streuung dieser 3-Phasen-Stichprobe ist dabei äußerst gering, denn die Anteile der Sekundärstichproben z.B. am Gesamtvorrat einer selten vorkommenden Holzart werden nicht über Hilfsvariablen geschätzt, sondern direkt berechnet. Zwar liegt dieser Berechnung die Waldstruktur des Inventurgebiets vor einigen Jahren zugrunde, aber bei einem Inventurzyklus von 5 oder 10 Jahren dürfte sich die Gesamtsituation nicht so grundlegend ändern, daß dies ins Gewicht fällt.

Es wird nochmals betont, eine Großrauminventur soll weder die Forsteinrichtung ersetzen noch Daten für die forstliche Betriebsplanung bereitstellen. Ihre Aufgabe ist es, repräsentative und statistisch fundierte Daten über eine Region oder ein ganzes Land zu liefern und eine solide Basis für großräumige forstwirtschaftliche und -politische Entscheidungen zu schaffen. Wenn wie bei der bayrischen Waldinventur 1970/71 oder auch der hier beschriebenen Südschwarzwald-Inventur die tatsächlichen Vorräte um 20 - 30 % über den Schätzungen der Forsteinrichtung liegen, mag der Gedanke auftauchen, das Hauptziel einer Großrauminventur sei die Aufspürung und Nutzung zusätzlicher Holzmengen. Zu einer verantwortungsvollen Bewirtschaftung gehört ja auch die nachhaltige und optimale Versorgung eines Landes mit Holz als Rohstoff und regenerierbarer alternativer Energie zu fossilen Brennstoffen und Uran. Und wenn praktisch ein Viertel der gesamten Vorräte und des Zuwachses außerhalb des forstlichen Blickfeldes stehen, ist dieses Ziel sicher nicht erreicht. Natürlich müssen zur Sicherung der Nachhaltigkeit und für unvorhersehbare Ereignisse Reserven angelegt werden, aber eben bewußt und kalkuliert statt tendenziöser, mengenmäßig nicht erfaßbarer Unterschätzung. "Es muß in diesem Zusammenhang als sehr fragwürdig bezeichnet werden, den Zuwachs oder den Vorrat unter Berufung auf das Prinzip der Vorsicht so zu bemessen, zu berechnen bzw. zu schätzen, daß eine bewußte, in ihrer Größe wechselnde Unterbewertung stattfindet. Auf diese Weise führt das Prinzip der Vorsicht, welches stets nur ein Grundsatz der Planung und nicht der Zu-

standserfassung sein kann, zur Verschleierung" (Hildebrandt 1963).

Aber eine Großrauminventur zeigt auch Gefahren einer Übernutzung auf, macht die tatsächliche Entwicklung von Vorräten und Zuwachs transparent und dient so als wirksame Kontrolle einer nachhaltigen Bewirtschaftung. Auch ist eine wesentliche Aufgabe einer forstlichen Großrauminventur die Erfassung antropogener Eingriffe in die Flächenstruktur des Waldes und die Überwachung von negativen Umwelteinflüssen wie starke Immissionsbelastung und andere Schadeinwirkungen.

Solange die Einrichtungswerke nicht flächendeckend vorliegen und mit den genannten Mängeln wie uneinheitliche Aufnahmeverfahren und nicht bezifferbarer Fehler behaftet und oft auch nicht mehr aktuell sind, leisten Großrauminventuren einen wertvollen Beitrag zur fundierten Einschätzung von Produktionspotential und Nutzungsmöglichkeiten sowie zur Überwachung der Flächen- und Vorratsstruktur und des Gesundheitszustandes unserer Wälder.

10. LITERATURANGABEN

- ABETZ, P., 1966: Zur Bestandesbegründung und Jungbestandspflege in Fichte. Forst- und Holzwirt, Jg. 21, 4, S. 77-80
- ABETZ, P., 1970: Jungbestandspflege im Zeichen optimaler Stammzahlhaltung. Forst- u. Holzwirt, Jg. 25, 17, S. 365-67
- AKCA, A., HILDEBRANDT, G., REICHERT, P., 1971: Baumhöhenbestimmung aus Luftbildern durch einfache Parallaxenmessung Forstw. Centralbl., 90, S. 201-215
- ATMAWIDJAJA, R., 1978: Forest inventory using double sampling with aerial photographs. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- AVERY, JENSEN, 1968: Dot-type zur Kronengrößenbestimmung. Man. of Photographic Interpretation, S. 463
- BAITIN, BAKANOV, KRESLIN, GERNITZ, MOTOWILOU, 1950: Die Grundlagen der Forsteinrichtung. Moskau 1950
- BAJZAK, D., 1978: The forest management inventory of Newfoundland. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- BEUTEL, P., KÜFFNER, H., RÖCK, E., SCHUBÖ, W., 1978: SPSS, Statistik-Programmsystem für die Sozialwissenschaften. Fischer Verlag
- BRAUN, R., 1957: Eine laufende Forstinventur in Österreich. Österr. Vierteljahresschrift für Forstwesen, 98, S. 76-104
- BRAUN, R., 1961a: Die Österreichische Forstinventur 1961-1970 im Blickwinkel der Forschung. Allg. Forstzeitung Wien, S. 212
- BRAUN, R., 1961b: Instruktionen für die Feldarbeit der Österreichischen Forstinventur 1961-1970. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien
- BRAUN, R., 1969: Österreichische Forstinventur. Methodik der Auswertung und Standardfehlerberechnung. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 84, S. 1-60
- BRAUN, R., 1975: Verfahrensmerkmale der österreichischen Forstinventuren. Allg. Forst- und Jagdztg. (AFJZ), 146. Jg. Heft 1, S. 2-6
- BRENAC, L., 1978: L'inventaire forestier national Francais. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- BUMBU, G., CARCERA, F., MUNTEANU, C., 1978: National forest inventory in Romania on the basis of the management data. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- CĂGIRICI, M., 1978: Untersuchungen zur Frage der Erkennung, Klassifizierung und Inventarisierung von kranken und abgestorbenen Kiefern in Infrarot-Farbluftbildern. Diss. Univ. Freiburg
- CARNEIRO, C.M.R., 1978: Forest cover mapping from Landsat-MSS data by analogue and computer assisted techniques in the Fed. Rep. of Germany. Diss. Univ. Freiburg

- CARNEIRO, C.M.R. und HILDEBRANDT, G., 1978: Qualitative and quantitative interpretation of Landsat MSS data to forest cover mapping in Germany. Proc. ISP und IUFRO Symp., Freiburg
- CARROL, M.R., 1978: The forest inventory in Alberta. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- CARRON, L.T., 1974: Changes in the nature and scope of inventory as an aid to forest management. Paper for 10. Commonwealth Forestry Conference
- CARRON, L.T. und WOOD, G.B., 1978: National forest inventory in Australia. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- CUNIA, T., 1978: On the objectives and methodology of national forest inventory systems. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- CUNIA, T., 1979: A world wide review of the problem of national forest inventory systems. Resource Inventory Notes, USDI, BLM-26
- DÜRFEL, H.J., 1978: Phänologische Aspekte bei der Inventur von Waldflächen. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- EIDGEN. ANSTALT FÜR DAS FORSTL. VERSUCHSW., 1959: Kommentar zur Karte der Kastanienverbreitung. Landeskarte 1 : 25 000 o.J., Karte der Kastanienverbreitung Blatt Tesserete, 1959
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG, 1968: Merkblatt Nr. 8, Baumzahlreduzierung in Fichten-Jungbeständen
- FVA Baden-Württemberg, 1972: Hinweise zum Gebrauch der Durchforstungshilfe in Fichten-Beständen. Mitteilung der Abt. Ertragskunde
- FVA Bayern, unter Mitarbeit von F.FRANZ und E.KENNEL, 1973: Bayr. Waldinventur 1970/71, Inventurabschn. I. Forschungsber. d. FVA München 11/73
- FVA Bayern, unter Mitarbeit von B.DECKELMANN, 1973: Bayrische Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt III, Listenstichprobe. Forschungsbericht der FVA München, Nr. 18
- FOWLER, G.W. und BIGELOW, F.H., 1979: How usefull is the coefficient of determination in multiple linear regression? Resource Inventory Notes, USDI, BLM-24
- FRANZ, F., 1973: Einführung in die Methodik der Waldinventur und Darstellung der Auswertemöglichkeiten. Forschungsberichte der FVA München Nr. 16
- FRANZ, F., 1975: Verfahrensmerkmale der Bayrischen Großrauminventur 1970/71. AFJZ, Heft 1
- FRAYER, W.E., 1978: Stratification in double sampling-"the easy way out may somethimes be the best way". Resource Inventory Notes, USDI, BLM-10
- GEHRKE, R., 1980: Bewertung von Schälschäden - dargestellt am Beispiel der Fichte - großräumige Erhebungen betriebswirtschaftlicher und waldbaulicher Auswirkungen. Diss. Univ. Freiburg

- GREGOIRE, T.G. und BARRETT, J.P., 1979: The effect of sample size on coefficient of variation estimation. Resource Inventory Notes, USDI, BLM-26
- GRIESS, O., 1978: Bericht über Erfahrungen mit der österreichischen Forstinventur. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- GROSENBAUGH, L.R., 1952: Plotless timber estimates-new, fast, easy. Journ. For. 50, 1: 32-37
- GROSENBAUGH, L.R., 1967: The gains for sample-tree selection with unequal probabilities. Journ. For. 65, 3: 203-206
- GROSSMANN, H., WOLFF, G., WÜNSCHE, H.E., 1963: Ein verbessertes Holzvorratsinventurverfahren für die Wälder der Deutschen Demokratischen Republik. Soz. Forstwirtschaft, 13, H. 4, Beilage
- HAGBERG, N., 1957: Die dritte schwedische Reichswaldtaxation. Archiv für Forstwesen, S. 29
- HALAJ, J., 1978: Die Forstinventur in der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- HANSEN, HURWITZ, MADOW, 1964/65: Sample survey methods and theory. Vol. I, II, New York
- HASZPRUNAR, H., 1978: Die österreichische Forstinventur. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- HELLER, R.C., 1971: Color and false color photography; its growing use in forestry. Application of Remote Sensors in Forestry, Meeting IUFRO Section 25, Freiburg
- HELLER, R.C. und WEAR, J.F., 1969: Sampling forest insect epidemics with color films. Proc. 6. Int. Symp. on Remote Sensing, Ann Arbor, Vol. 2
- HENNE, A., 1975: Großbrauminventuren. AFJZ 146. Jg, Heft 1
- HENNE, A., 1978: Zusammenfassung von Forsteinrichtungsdaten anstelle von Großbrauminventuren. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- HILDEBRANDT, G., 1957: Zur Frage des Bildmaßstabes und der Filmwahl bei Luftbildaufnahmen für forstliche Zwecke. Archiv für Forstwesen, S. 285-306
- HILDEBRANDT, G., 1959: Beobachtungen über die Verteilung des Schälsschadens in Fichtenbeständen. AFJZ 8/9
- HILDEBRANDT, G., 1961: Methoden der Waldinventur im Nordwesten und in der Rocky Mountains der USA. AFZ, Heft 1
- HILDEBRANDT, G., 1962: Luftbilddauswertung bei Waldinventuren im Gebiet der Sommer- und Nadelwälder. Allg. Forstzeitung (AFZ), Nr. 1/2
- HILDEBRANDT, G., 1962: Ein Vergleich der forstlichen Interpretation panchromatischer und infraroter Luftbilder. Archives Internationales de Photogrammetrie, Vol. XIV, Delft
- HILDEBRANDT, G., 1964: Forstliche Großbrauminventuren. AFZ, S. 100-107

- HILDEBRANDT, G., 1967: Der laufende Zuwachs in der Forsteinrichtung. Schriftenreihe forstl. Abteilung Univ. Freiburg, Band 6
- HILDEBRANDT, G., 1969: Ermittlung von Stammdurchmesserverteilungen in Buchenbeständen durch Luftbildinterpretation. Bildmessung und Luftbildwesen, S. 48-54
- HILDEBRANDT, G., 1973: Zum Einsatz von Erderkundungssatelliten für supranationale Inventuren der Wälder und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Raumfahrtforschung, 17, S. 164-168
- HILDEBRANDT, G., 1979: Voraussetzung und Praxis der Inventur von Vegetationsschäden durch Fernerkundung. Vortrag vor der Techn. Akademie Wuppertal
- HILDEBRANDT, G. und HELLER, R.C., 1971: The implication of remote sensors for forestry research and practice. Proc. IUFRO Congress
- HILDEBRANDT, G. und KENNEWEG, H., 1968: Einige Anwendungen der Falschfarbenphotographie im forstlichen Luftbildwesen. AFJZ, S. 205-213
- HILDEBRANDT, G. und KENNEWEG, H., 1968: Falschfarbe-Luftbilder zur Erkennung von Waldschäden. Umschau, H. 11, S. 343-344
- HILDEBRANDT, G. und KENNEWEG, H., 1970: Vegetationsschädigungen und ihre Erkennung im Luftbild. AFZ 25. Jg., S. 741-744
- HORKY, A., 1956: Forstpolitischer Überblick. Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen, 97. Bd., S. 133-135
- HOSIUS, A., 1974: Holzvorratsermittlung mit Hilfe der Luftbilder (Laubbäume). Diplomarbeit Abt. Luftbildmess. Univ. Freiburg
- HOWARD, J.A. und SCHWAAR, D.C., 1978: Role and application of high altitude aerial photography in the humid tropics with special reference to Sierra Leone. Proc. ISP und IUFRO Symp., Freiburg
- ILVESSALO, Y., 1927: The forests of Suomi. Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921-24. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae (CIFF), Band 11
- ILVESSALO, Y., 1931: A comparison of the forest resources of the northern countries CIFF, Band 15
- ILVESSALO, Y., 1943: Die Waldvorräte und der Zustand der Wälder Finnlands. II. Reichswaldabschätzung. CIFF, Band 30
- ILVESSALO, Y., 1956: The forests of Finland from 1921-24 to 1951-53. CIFF, Band 47
- ILVESSALO, Y., 1963: Das finnische Reichsinventar (Zweck, Methode und Ergebnisse). Schweizer Zeitschrift für Forstwesen, S. 73-82
- INTERPRETATION SYSTEMS INC.: Operation and maintenance instructions. Lawrence, Kansas, USA

- IWONINSKI, T.P., 1952: Die Taxation vom Flugzeug aus - eine neue Technik der Forsteinrichtung. Lesn. Chosj., S. 43ff
- KENNEWEG, H., 1972: Die Verwendung von Farb- und Infrarot-Farbluftbildern für Zwecke der forstlichen Photointerpretation unter besonderer Berücksichtigung der Erkennung und Abgrenzung von Kronenschäden in Fichtenbeständen. Diss. Univ. Freiburg
- KLANKAMSON, B.C., 1976: Landsat-1 imagery application in Forestry. Remote Sensing in Forestry, Freiburg, (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)
- KILPATRICK, D.J. und SAVIL, P.S., 1978: Northern Ireland State forest inventory. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- KÖLBL, O., 1978a: Realistische Landnutzungserhebungen. Bildmessung und Luftbildwesen, Bd. 1, S. 4-11
- KÖLBL, O., 1978b: Anwendung des Luftbildes in der Schweizer Forstpraxis. Berichte der EAFV, Birmensdorf
- KÖLBL, O. und TRACHSLER, H., 1978: Großräumige Landnutzungserhebungen mittels stichprobenweisen Auswertungen von Luftbildern. Dokumentation des ORL-Institutes der ETH Zürich, DISP Nr.51
- KONOHIRA, Y., 1978: The problem of forest inventory and data filing system in Japan. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- KURTH, A., 1967: Ein forstliches Landesinventar als Grundlage schweizer Forstpolitik. Wald und Holz, S. 94-99
- KUUSELA, K., 1973: Sampling of forest resources from the viewpoint of resource utilization and environmental management on the national and international level. Proc. IUFRO Meeting SG S4.02, Nancy, Vol. 2
- KUUSELA, K., 1978: The national forest inventory in Finland. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- KUUSELA, K., 1978: The need and purpose of the national inventory on the basis of forest resource statistics in Europe. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- KUUSELA, K. und POSO, S., 1970: Satellite pictures in the estimation of the growing stock over extensive areas. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 4 Nr. 1
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, 1965: Anweisung für die Holzvorratsaufnahme, Bestimmungen und Herleitungen zur Alters- und Zuwachsermittlung. Stuttgart
- LFV BADEN-WÜRTTEMBERG, 1966: Hilfstabellen für die Forsteinrichtung, Teil 1 und 2. Stuttgart
- LFV BADEN-WÜRTTEMBERG, 1970: Dienstanweisung für die Forsteinrichtung. Stuttgart
- LANDFORD, B.L. und CUNIA, T., 1977: Stand projection by simulation using cfi-data. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Berichte 171, S. 29-52
- LANGLEY, P.G., 1969: New multistage sampling techniques using space and aircraft imagery for forest inventory. Proc. 6. Int. Symp. Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Vol. 2, S. 1179-92

- LANGLEY, P.G., 1971: The benefits of multi-stage variable probability sampling using space and aircraft imagery. Application of Remote Sensors in Forestry, Meeting IUFRO Section 25, Freiburg
- LANGLEY, P.G., 1975: Multistage variable probability sampling: Theory and use in estimating timber resource from space and aerial photography. Ph. D. Dissertation, Ann Arbor
- LANGLEY, P.G., 1976: Sampling methods useful to forest inventory when using data from remote sensors. Remote Sensing in Forestry, Freiburg, (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)
- LANGSAETER, A., 1949: Forest surveys of Norway. Unasylva 1949, Vol. 3, S. 107-112
- LOETSCH, F., 1973: Which components of forest inventory need research urgently? Proc. IUFRO Meeting, SG S 4.02, Nancy, Vol. 3
- LOETSCH, F., 1975: Einige Überlegungen zur Zielsetzung und zur Wahl der Methodenkomponenten für forstliche Großrauminventuren in der Bundesrepublik Deutschland. AFJZ, 146. Jg. Heft 1 S. 10-15
- LOETSCH, F. und HALLER, E., 1962: The adjustment of area computations from sampling devices on aerial photographs. Photogrammetric Engineering, S. 798-810
- LOETSCH, F. und HALLER, E., 1964: Forest Inventory, Vol. 1. München, Basel, Wien
- LOETSCH, F., ZÖHRER, F. und HALLER, E., 1973: Forest Inventory, Vol. 2. München, Bern, Wien
- LOSEE, S.T.B., 1953: Timber estimates from large-scale photographs. Phot. Engin. 19, S. 752-762
- LUND, G., 1978: Multiple resource inventories in the United States. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- MAGIN, R., 1958: Über die Brauchbarkeit des forstlichen Bonitätsbegriffes. AFJZ, 7, S. 145-150
- MAGIN, R., 1960: Ertragsregelung auf standörtlicher Grundlage. Mitt. Staatsforstverw. Bayern, Heft 31
- MAGIN, R., 1963: Standortsgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. AFZ, S. 128-130
- MAGIN, R., 1978: National forest inventory, eine Einführung zum Thema aus der Sicht des Forsteinrichters. Proc. IUFRO Joint Meeting, Bukarest
- MARINELL, G., 1977: Multivariate Verfahren. München, Wien
- MARSHALL, J.R. und MEYER, M.P., 1978: Field evaluation of small-scale forest resource aerial photography. Phot. Engin. and Remote Sens., Vol. 44, Nr. 1, S. 37-42
- MARSHALL, D. e.a., 1979: Forestry applications of small scale aircraft and Landsat RBV imagery: many promises, some problems and a few accomplishments. Symp. on Rem. Sens. for Nat. Resources, Moscow, Idaho

- MARTINEZ, J., 1973: The first Spanish national forest survey. Proc. IUFRO Meeting SG S 4.02, Nancy, Vol. 2
- MASUMY, S.A., 1974: Holzvorratsermittlung mit Hilfe der Luftbilder (Nadelholz). Diplomarbeit Abt. Luftbildmess., Univ. Freiburg
- MATERN, B., 1947: Methods of estimating the accuracy of line and sample plot surveys. Medd. Skogssfors. Inst. Schweden, Stockholm, Band 31, 1
- MATERN, B., 1960: Forest surveys and the statistical theory of sampling some recent developments. Proc. 5. World For. Congress, Seattle, Vol. 1
- MATERN, B., 1961: Spatial variation. Stochastic models and their application to some problems in forest surveys and other sampling investigations. Medd. Skogssfors. Inst. Schweden, Stockholm, Band 49, 5
- MINISTERIUM für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden-Württemberg, 1959: Rotwildverordnung vom 28. März 1959, Ges. Bl. S. 121
- MINISTERIUM für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden-Württemberg, 1979: Forststatistisches Jahrbuch 1978. Stuttgart
- MURTHA, P.A., 1976: Inventory and monitoring of forest diseases and damages by remote sensing - considerations about promising ways to do it. Remote Sensing in Forestry, Freiburg (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)
- MURTHA, P.A., 1978: Resolution and their disposition: from the symposium on remote sensing for vegetation damage assessment, Seattle, Washington, 1978. Proc. ISP und IUFRO Symposium, Freiburg
- NÄSLUND, M., 1957: Die schwedische Reichswaldtaxation. Forstw. Centralblatt, S. 321-23
- NEYMANN, J., 1934: On the two different aspects of the representative method: the method of stratified sampling and the method of purposive selection. Jour. Roy. Soc. Nr. 97, S. 558
- NICHOLS, J.D., 1979: Multistage and multiphase sampling. Resource Inventory Notes, USDI, BLM-18
- NIE, N., HULL, C., JENKINS, J., STEINBRENNER, K., BENT, D., 1975: SPSS, Statistical Package for the Social Sciences. Mac Graw-Hill
- NYMBURSKÝ, B., 1978: Nationalforstinventuren in der Tschechoslowakischen sozialistischen Republik. Proc. IUFRO Joint Meeting, Bukarest
- NYSSÖNEN, A., 1973: Finnish experiences on forest inventory with remeasured sample plots. Proc. IUFRO Meeting SG S 4.02, Nancy, Vol. 2
- NYSSÖNEN, A., 1976: Practices and trends in inventories of temperated forests. Remote Sensing in Forestry, Freiburg (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)

- PELZ, D.R., 1978a: Computer-assisted instruction in forestry. Journ. of Forestry, Vol. 76, Nr. 9
- PELZ, D.R., 1978b: An automatic data processing system for multiple resource inventories. Paper pres. Int. Workshop on Integrated Inventories, Tuscon, Arizona
- PETRI, H., 1978: Weiterentwicklung der Forsteinrichtung - eine Alternative zur nationalen Forstinventur. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- POSO, S., 1972: A method of combining photo and field samples in forest inventory. Com. Inst. For. Fenn. Nr. 76.1, Helsinki
- POSO, S., 1978: National forest inventory in northern Finland. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- POSO, S. und KUJALA, M., 1971: Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. Folia Forestalia 132, Helsinki
- PRODAN, M., 1961: Forstliche Biometrie. München, Bonn, Wien
- PRODAN, M., 1965: Holzmeßlehre. Frankfurt
- RABENAU, G., 1969: Holzarteninterpretation aus Luftbildern mit statistischer Prüfung des Einflusses von Film und Maßstab. Diss. Hochsch. Bodenkult. Wien
- REBEL, 1927: Reformbedürftigkeit unserer Forsteinrichtung. Silva, S. 237-42
- REICHERT, P., 1976: Vegetationskundliche Auswertung multispektraler Scanneraufzeichnungen. Remote Sensing in Forestry, Freiburg (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)
- REICHERT, P., 1977: Auswertung multispektraler Scanneraufzeichnungen für land- und forstwirtschaftliche Inventuren. Proc. FMP-Symp., Hannover
- RHODY, B., 1973: Luftbildstichproben in einer nadelholzreichen Mittelland-Region. Proc. IUFRO Meeting SG S 4.02, Nancy, Vol. 2
- RHODY, B., 1976: Ein 70mm-Stereo-Kamerasystem für Waldaufnahmen von leichten Flächenflugzeugen aus. Remote Sensing in Forestry, Freiburg, (Proc. IUFRO Congress Oslo, 1976)
- RHODY, B., 1978: Ein kombiniertes Inventurverfahren mit großmaßstäblichen 35mm und 70mm Photo- und permanenten Stichproben unter Berücksichtigung terrestrischer Photomessungen. Proc. ISP und IUFRO Symp. Freiburg
- ROEDER, A., 1970: Schälschaden des Rotwildes an der Fichte. Diss. Hann. Münden
- van ROESSEL, J.W., 1976: Machine estimation of timber volumes for use in sampling surveys. Proc. Symp. Inst. Electrical and Electronics Engin., New York
- ROHDE, H., 1977: Untersuchungen zur Erkennung von Vitalitätsunterschieden an Kiefern durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern. Diss. Univ. Freiburg

- SCHADE, J., 1978: Entwurf eines mehrstufigen Stichprobenmodells für großräumige Waldinventuren mit Hilfe von Fernerkundungsaufzeichnungen. Proc. ISP und IUFRO Symp. Freiburg
- SCHINDLER, C., 1967: Möglichkeiten der Stichprobenentnahme aus Luftbildern unter besonderer Anwendung der Radiallinie zum Zwecke von Flächeninventuren, demonstriert an einem mittelgroßen Inventurgebiet. Diss. Univ. Freiburg
- SCHMID-HAAS, P. und WULLSCHLEGER, E., 1978: Plans for a Swiss national inventory. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- van SICKLE, C., 1978: An overview of regional forest inventory systems in the United States. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- SIEDER, P., 1978: Aktuelle Anforderungen an die praktische Forsteinrichtung. Aufgaben, Möglichkeiten, Grenzen und Entwicklungstendenzen. Diss. Univ. Freiburg
- SMITH, V.G., 1978: Forest inventory in Canada. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- SPACE, J.C. und TURMAN, D., 1977: 3-p sampling: an efficient sampling technique for forest inventory. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Bericht 171, S. 15-22
- SPEIDEL, G., 1972: Planung im Forstbetrieb. Hamburg, Parey
- SPEIDEL, G., 1975a: Schalenwildbestände und Leistungsfähigkeit des Waldes als Problem der Forst- und Holzwirtschaft aus der Sicht der Forstökonomie. AFZ 1975, S. 247-250
- SPEIDEL, G., 1975b: Grundlagen und Methoden zur Bestimmung der wirtschaftlich tragbaren Wilddichte beim Schalenwild. FA 11, S. 221-28
- SPURR, S.H., 1960: Photogrammetry and photointerpretation. With a section on application to forestry. 2nd edit. of Aerial Photographs in Forestry, New York
- STAGE, A.R., 1977: Forest inventory data and construction of growth models. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Bericht 171, S. 23-27
- STAHL-STREIT, J., 1965: Die Forststatistik in Deutschland und Möglichkeiten ihrer Verbesserung. Diss. Univ. Freiburg
- STELLINGWERF, 1973: Application of aerial volume tables and aspects of their construction. Proc. IUFRO Meeting SG S4.02, Nancy, Vol. 2
- STELLINGWERF, D.A., 1978a: A comparative test of unrestricted, stratified, two-phase and two-stage pps timber volume sampling using an orthophoto mosaik. Proc. ISP und IUFRO Symp. Freiburg
- STELLINGWERF, D.A., 1978b: Results of two-stage unequal probability (pps) sampling for timber volume using an orthophoto mosaik. Proc. ISP und IUFRO Symp. Freiburg

- STELLINGWERF, D.A. und BENESSALA, D., 1977: Mean annual volume growth from sequential volume determination on permanent aerial photographic plots. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Bericht 171, S. 53-63
- STOTT, C.B. und SEMMENS, G., 1960: Our changing inventory methods and the C.F.I. System in North America. Proc. 5th World Congr., Seattle, Vol. 1, S. 451-454
- TALTS, J., 1979: Possible applications of Landsat data in Swedish forestry. Symp. on Rem. Sens. for Nat. Resources, Moscow, Idaho
- TANDON, M.N., 1974: Untersuchungen zur Stammzahlermittlung auf Luftbildern und darauf aufbauende Holzvorratsbestimmung. Diss. Univ. Freiburg
- ULBRICHT, R. und GROSSMANN, H., 1978: Die GroBrauminventur der DDR, Aufgaben und Ziele. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- WARE, K.D., 1977: Sampling designs for continuity in forest inventory. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Bericht 171, S. 7-14
- WEBER, E., 1961: Grundriß der biologischen Statistik. Fischer Verlag, Jena
- WEIMANN, H.J., 1975: Listenrepräsentativaufnahme 1970 der Fichtenbestände im hessischen Staatswald. AFJZ, Heft 1
- WEINHART, J., 1978: Untersuchung zur Ermittlung von Brusthöhen-durchmessern durch Kronenmessung in Fichten- und Buchenbeständen an Hand von Luftbildern. Diplomarbeit Abt. Luftbildmess. Univ. Freiburg
- WERT, S.L., 1969: A system for using remote sensing techniques to detect and evaluate air pollution effects on forest stands. Proc. 6th Int. Symp. Rem. Sens. Environment, Ann Arbor, Vol. 2
- WHYTE, A.G.D., 1978: National forest inventories in New Zealand. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest
- WIANT, H.V., 1977: Comparison of point - 3p sampling designs. Resource Inventory Notes, USDI, Nov. 1977
- WILSON, R.C., 1960: Surveys applicable to extensive forest areas in North America. Proc. 5th World Congr., Seattle, Vol 1, S. 257ff
- WODERA, H., 1948: Die Holzmassenermittlung nach Luftbildern. Allg. Forst- und Holzwirtsch. Ztg., Folge 13, 14, 15, 16
- WOLFF, G., 1960: Zur Verbesserung der Methodik von Holzvorratsinventuren mit Hilfe des Luftbildes. Archiv für Forstwesen, 9. Band, Heft 4, S. 365-380
- WOLFF, G., 1962: Eine Möglichkeit der Luftbildanwendung bei Stichprobeninventuren des Holzvorrats. AFZ Nr. 1/2, S. 26-28
- ZENKER, E., 1980: Das Vorkommen des Rotwildes und dessen Auswirkungen auf den Schälschaden - Auswertung der Ergebnisse einer Befragung der Landesforstverwaltungen in der Bundesrepublik Deutschland. Dipl. Arbeit Forstl. Fak. Univ. Freiburg

ZOBEIRY, M., 1972: Mehrstufige Stichproben im aufgelockerten Gebirgswald. Mitt. der Schweizer Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Band 48, Heft 3

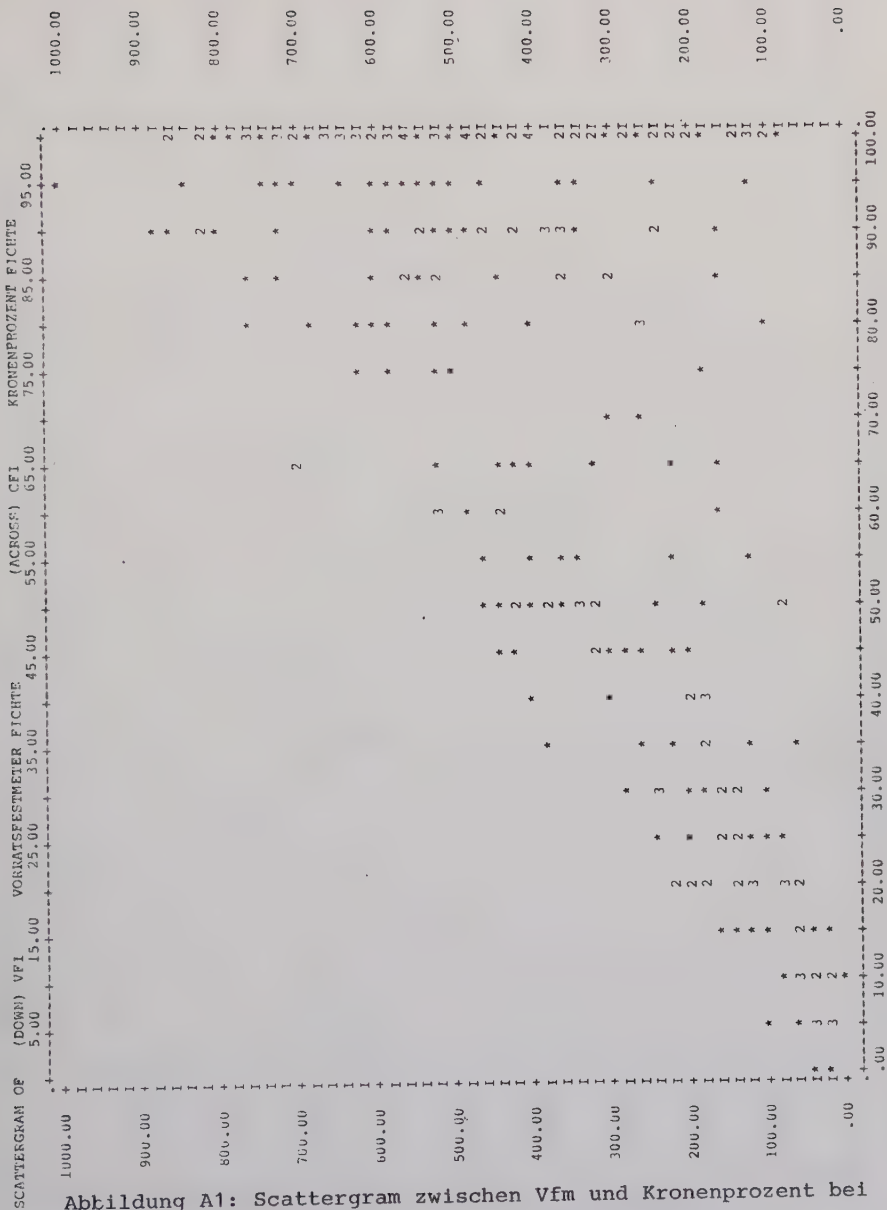
ZÖHRER, F., 1977: Zur Entwicklung einer optimalen Inventurmethodik für die Forsteinrichtung. Forstw. Centralblatt 96, S. 137-146

ZÖHRER, F., 1978a: National forest inventories, goals, concepts, changes. Proc. IUFRO Joint Meeting Bukarest

ZÖHRER, F., 1978b: On the precision of dot grid estimates. Resource Inventory Notes, USDI, BLM-12

11. ANHANG

Scattergramme zwischen Vorrat bzw. Zuwachs und Luft-
bild- sowie Geländeparametern.



Korrelation $r = 0.769$

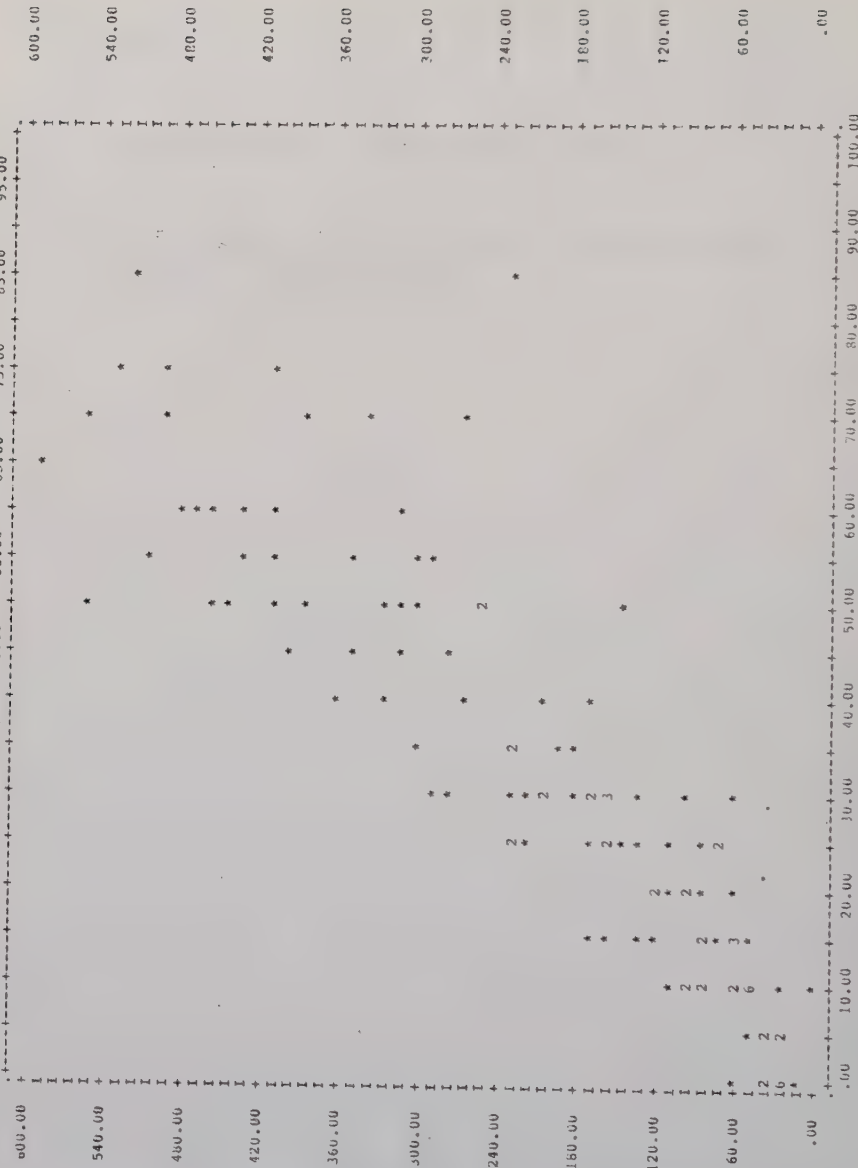
FILE INVENT (CREATION DATE = 01/14/80)

SCATTERGRAM CF

(DOWN) VIA VORRATSEFESTHEITER TANNE
5.00 15.00 25.00 35.00 45.00

(ACROSS) CTA
55.00 65.00

KRONENPROZENT TANNE
75.00 85.00 95.00



Korrelation $r = 0.948$

Abbildung A2: Scattergram zwischen Vfm und Kronenprozent bei Tanne

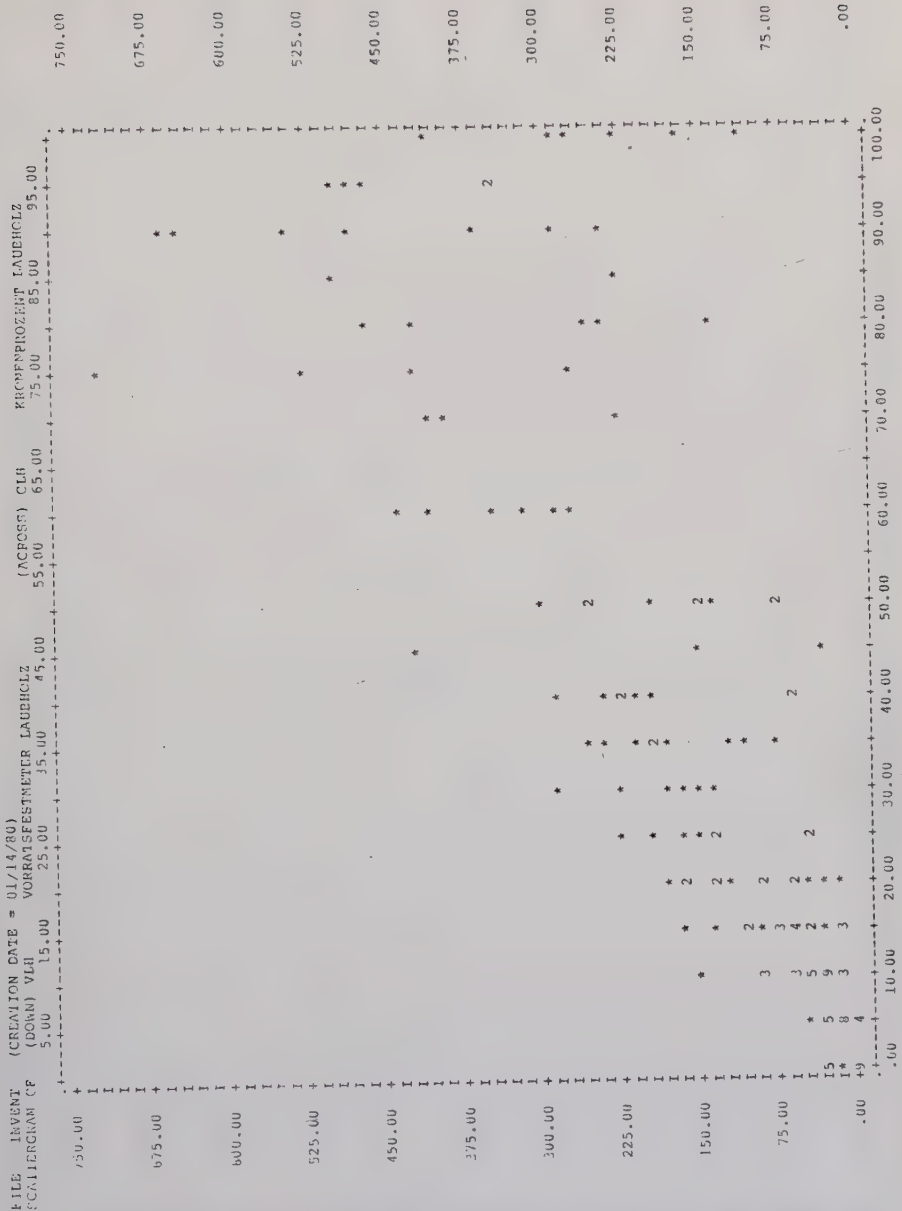


Abbildung A3: Scattergram zwischen Vfm und Kronenprozent bei Laubholz

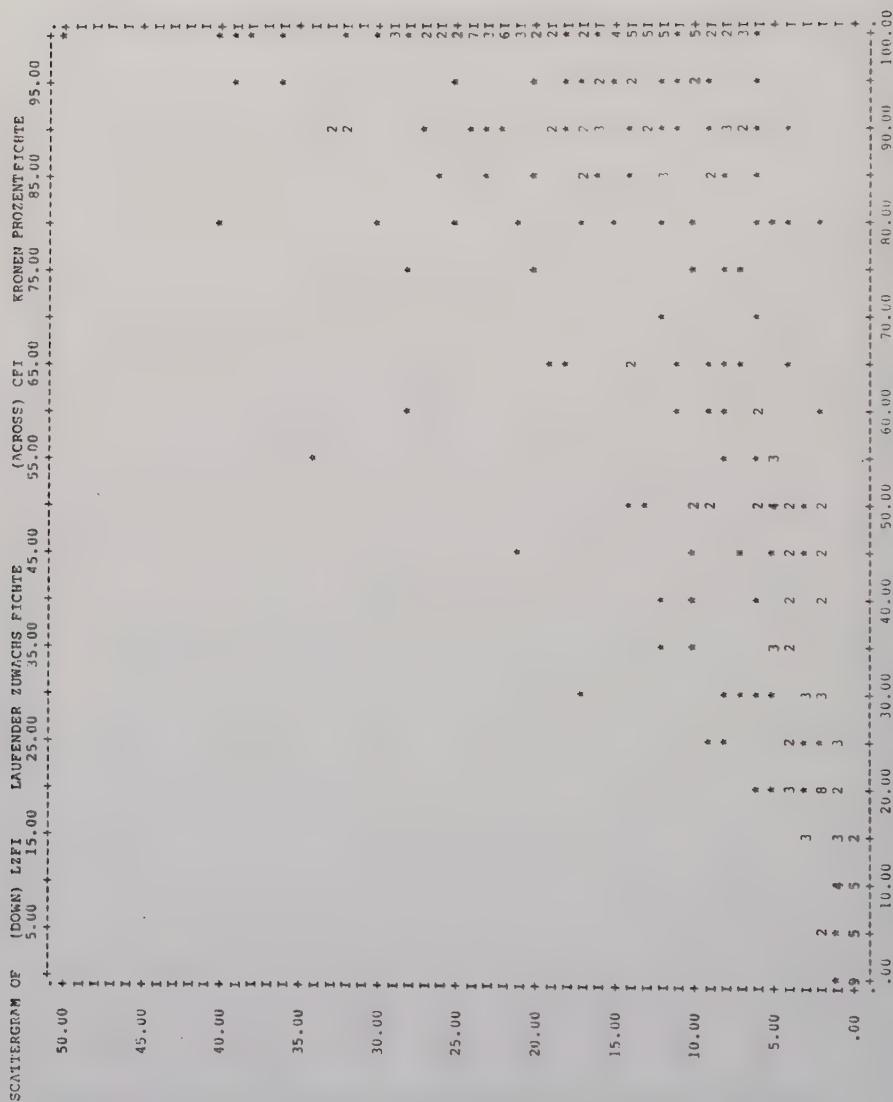
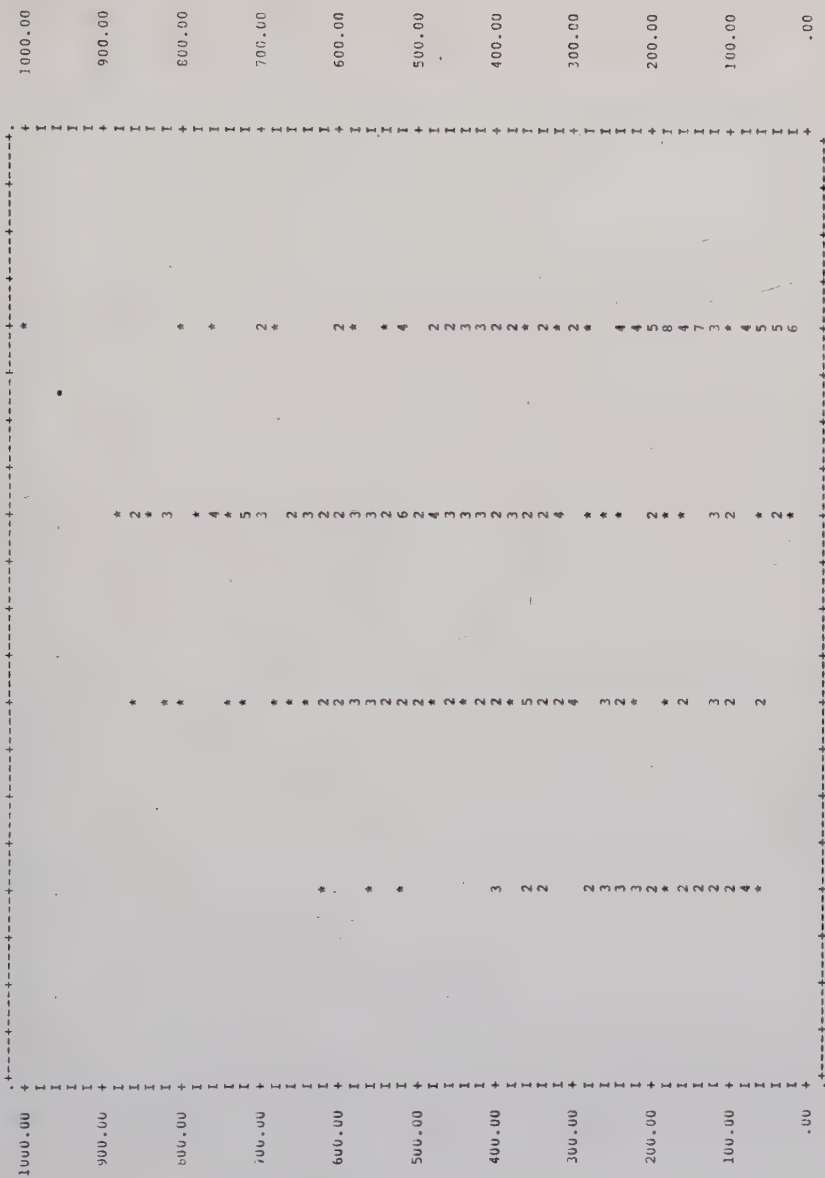


Abbildung A4: Scattergram zwischen laufendem Zuwachs und Kronenprozent bei Fichte

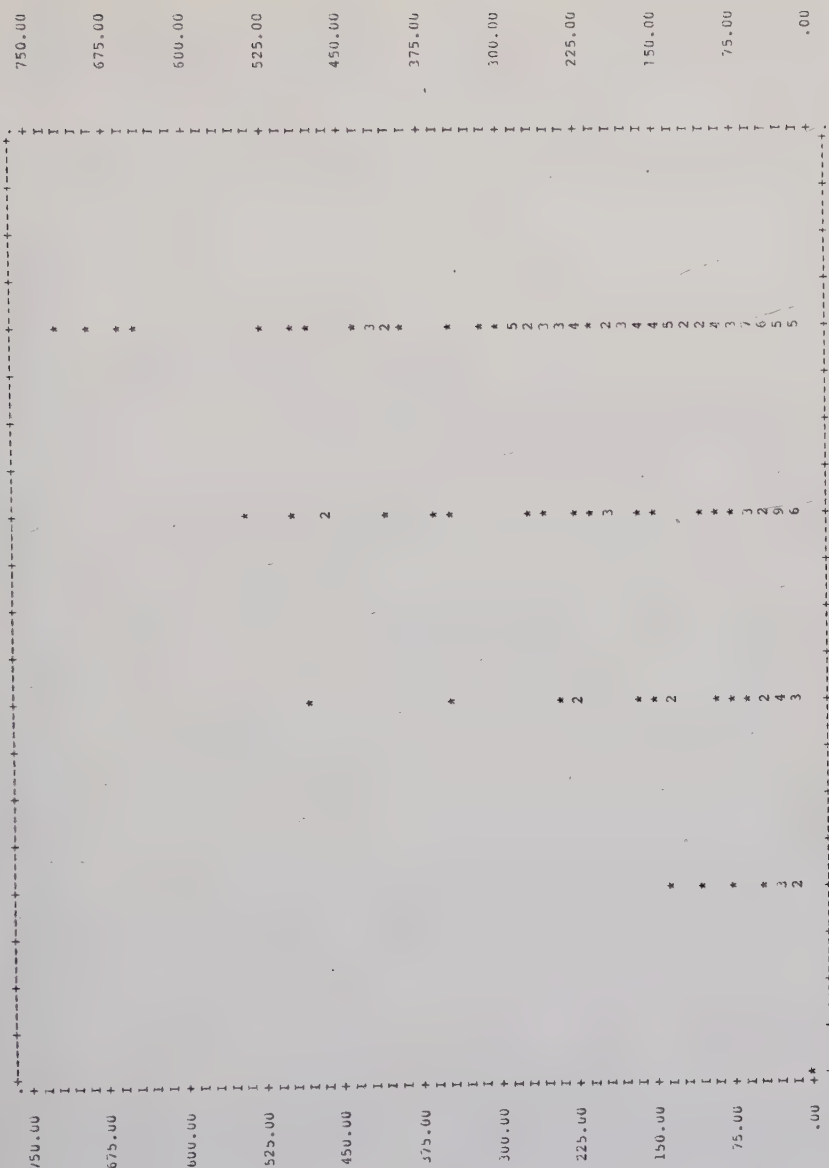
FILE INVENT (CREATION DATE = 01/14/90)
 SCATTERGRAM CF (DOWN) VFI VORRATSESTIMER FICHTE (ACROSS) ALTER



Korrelation $r = -0,100$

Abbildung A5: Scattergram zwischen Vfm und Alter bei Fichte

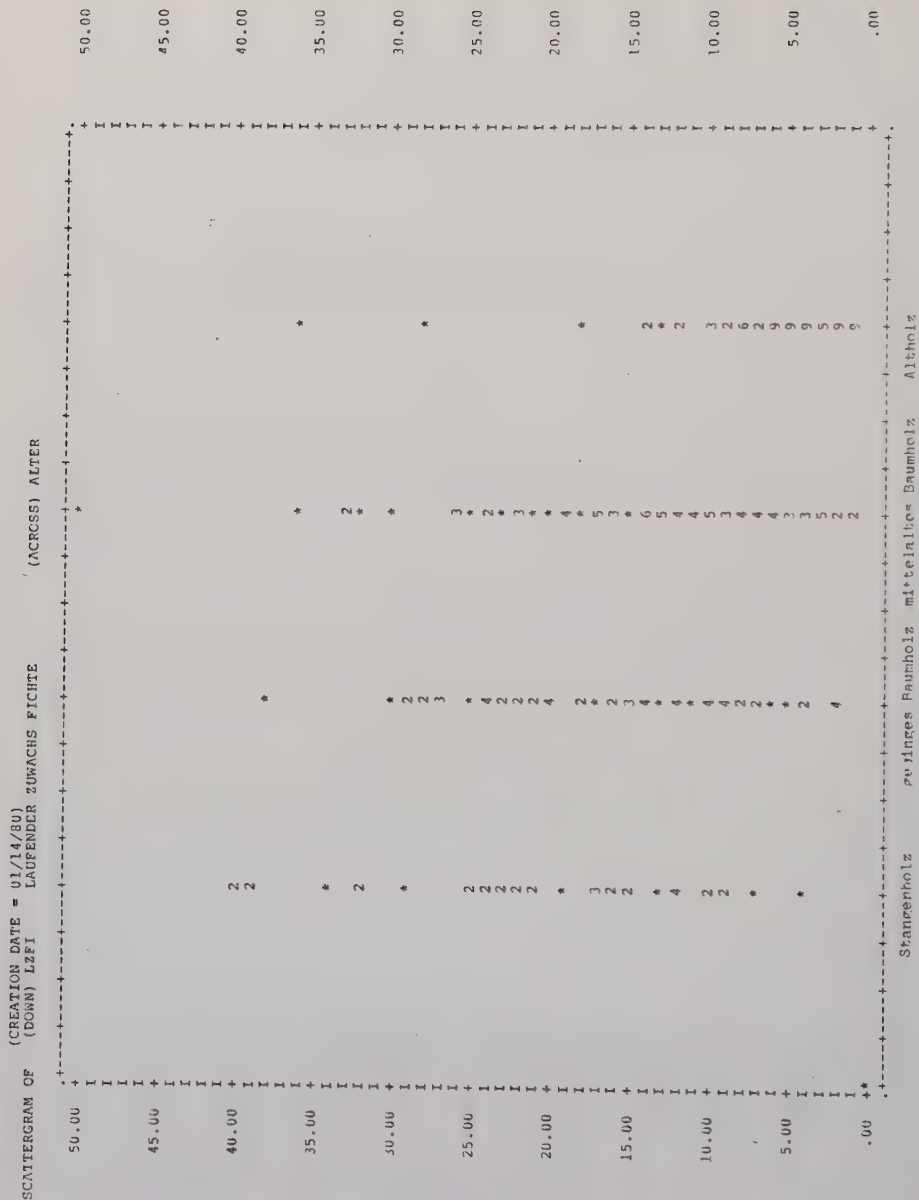
FILE INVENT (CREATION DATE = 01/14/80)
SCATTEGRAM OF (DOKN) VLM VORWATSEFMETER LAUBHOLZ (ACROSS) ALTER



Stangenholz geringes Baumholz mittelaltes Baumholz Altholz

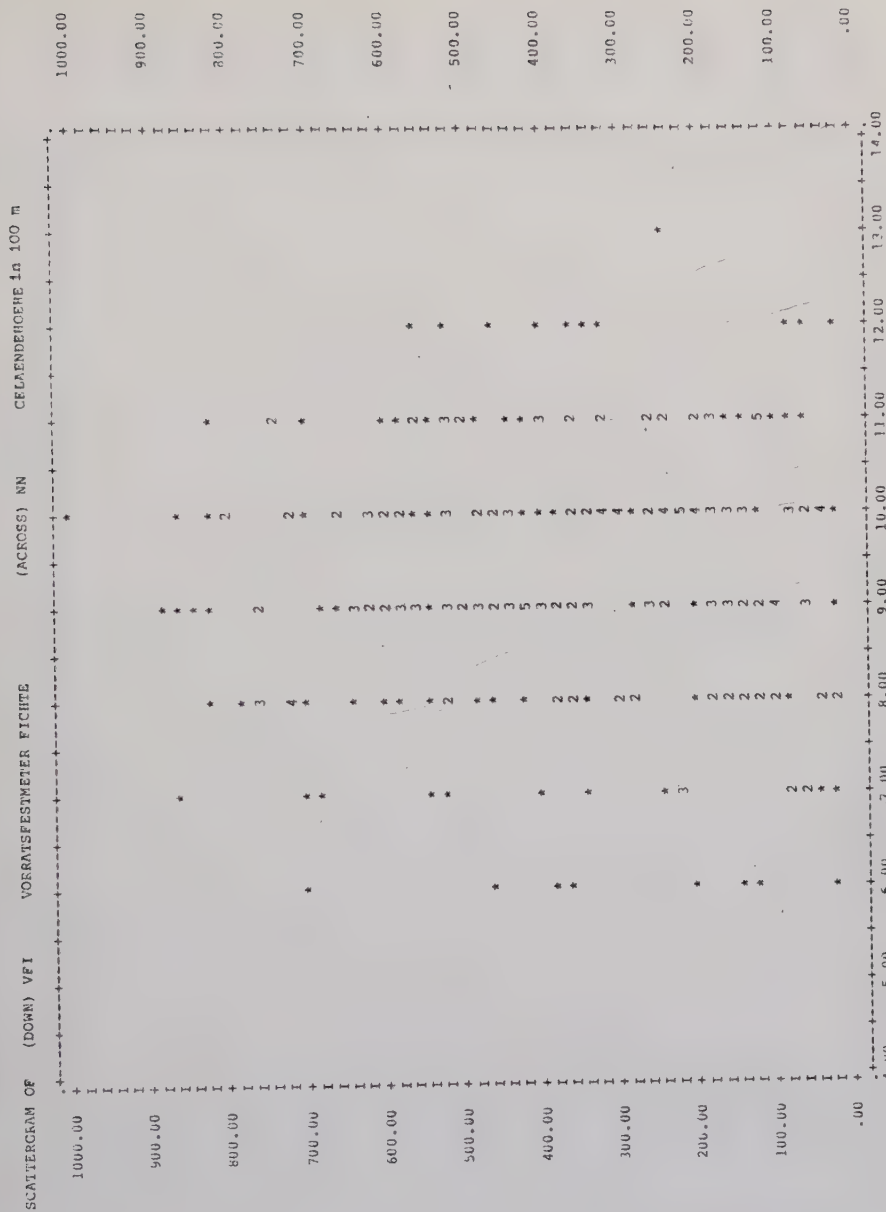
Korrelation r = 0,357

Abbildung A7; Scattergram zwischen Vfm und Alter bei Laubholz



Korrelation $r = -0,515$

Abbildung A8: Scattergram zwischen laufendem Zuwachs und Alter bei Fichte



Korrelation $r = 0.150$

Abbildung A9: Scattergram zwischen Vfm Fichte und Geländehöhe

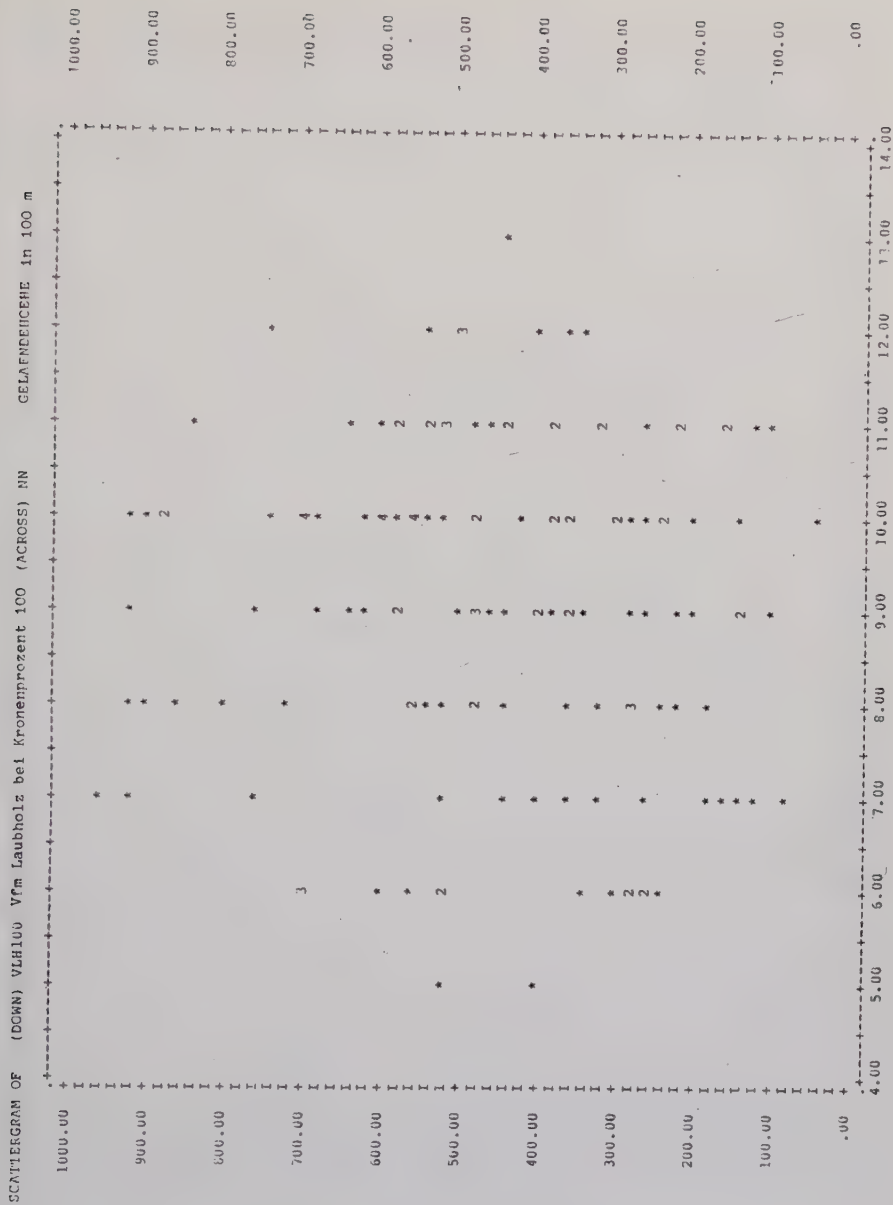


Abbildung A11: Scattergram zwischen Vfm Laubholz (bezogen auf Kronenprozent 100) und Geländehöhe

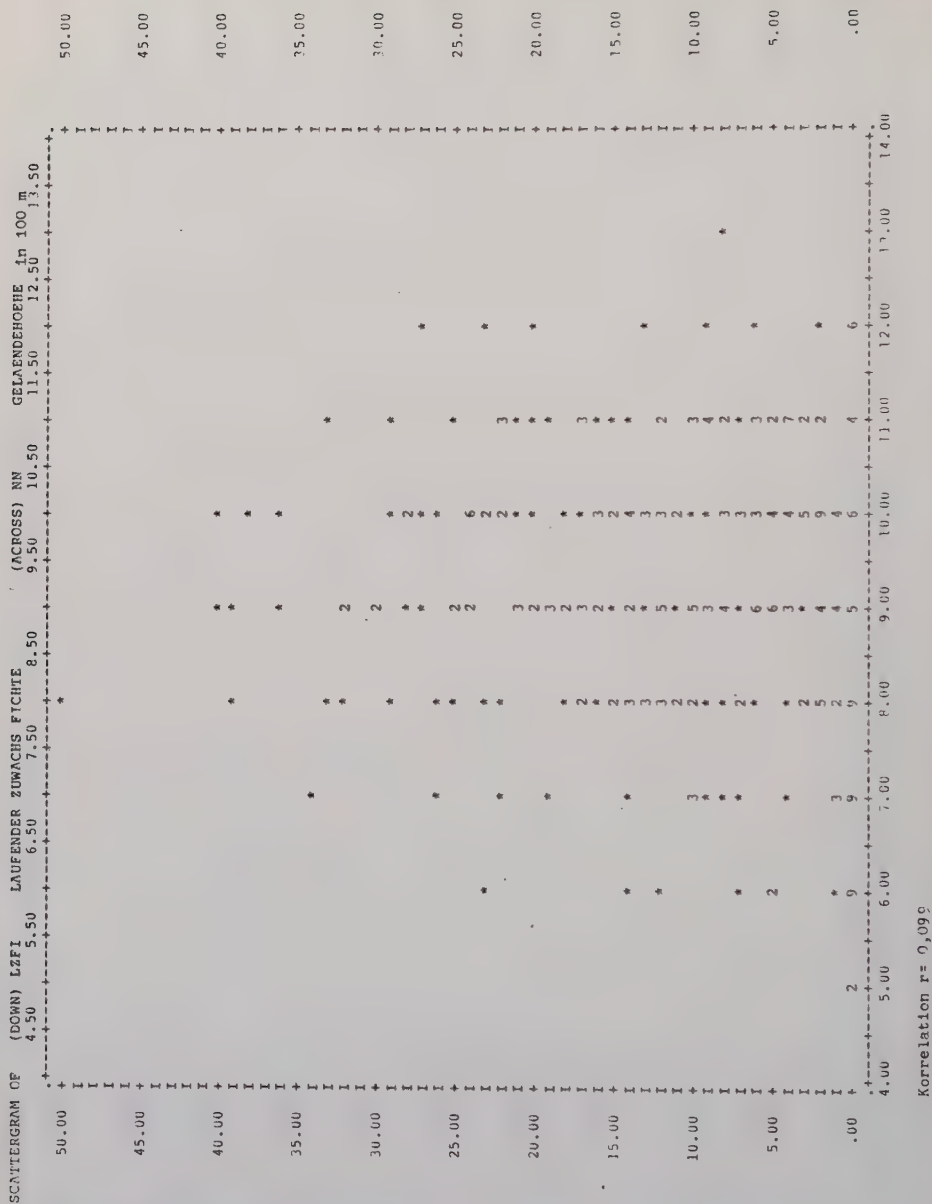


Abbildung A12: Scattergram zwischen laufendem Zuwachs Fichte und Geländehöhe

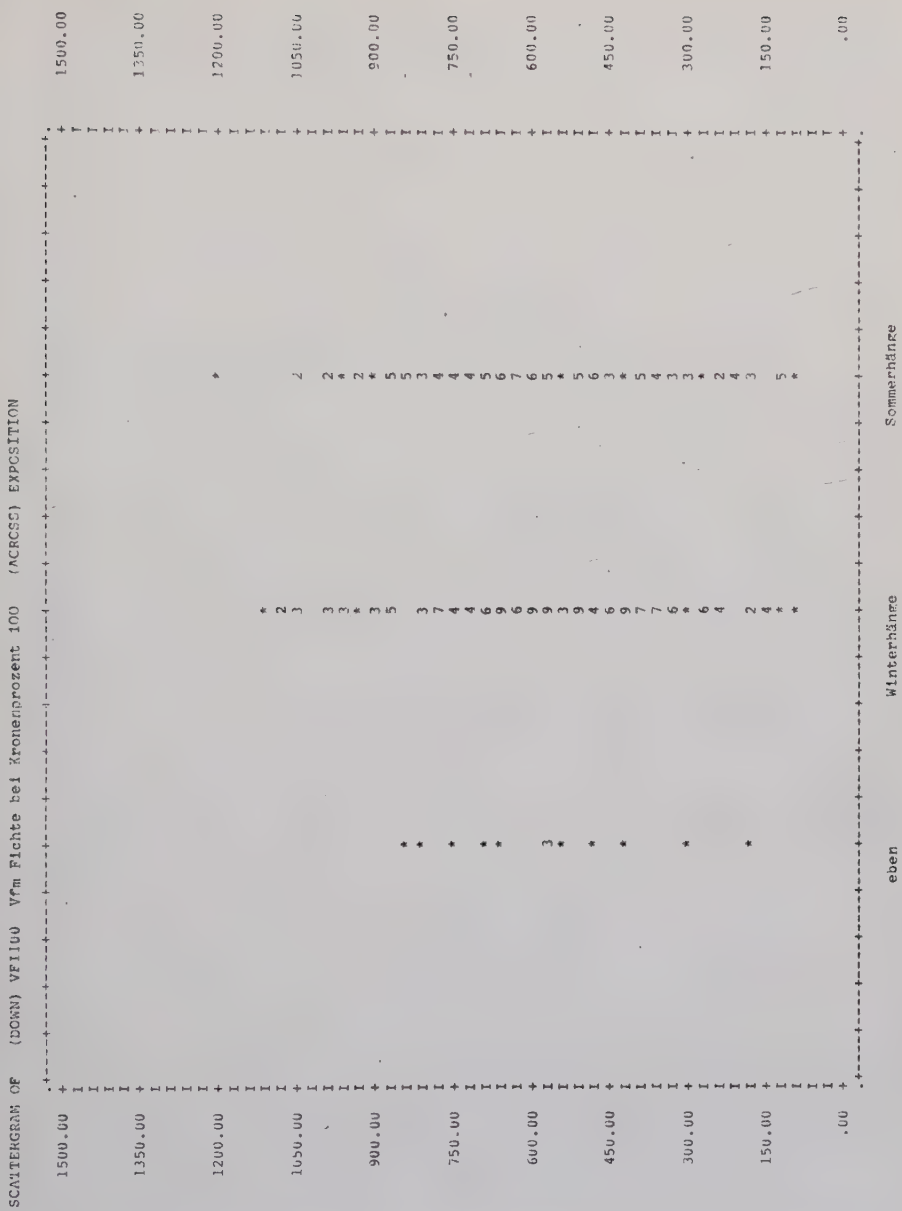
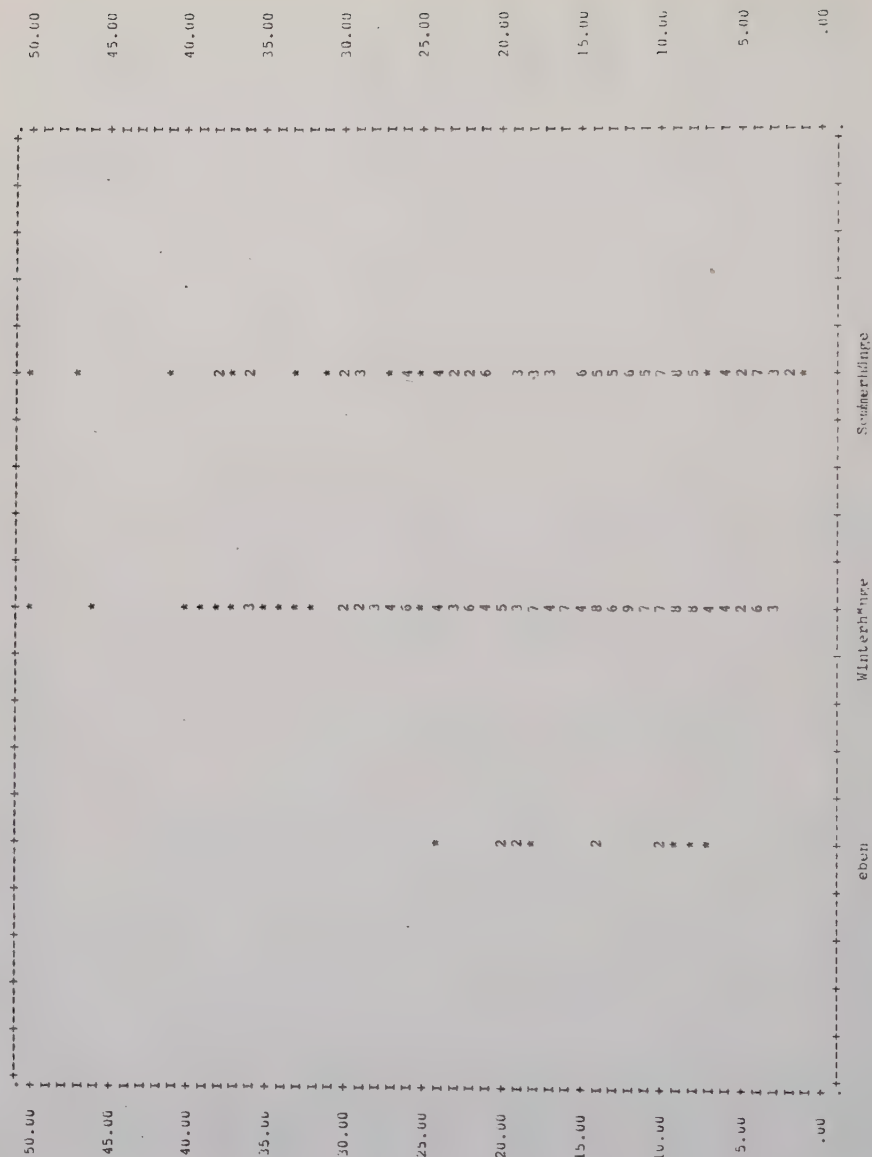
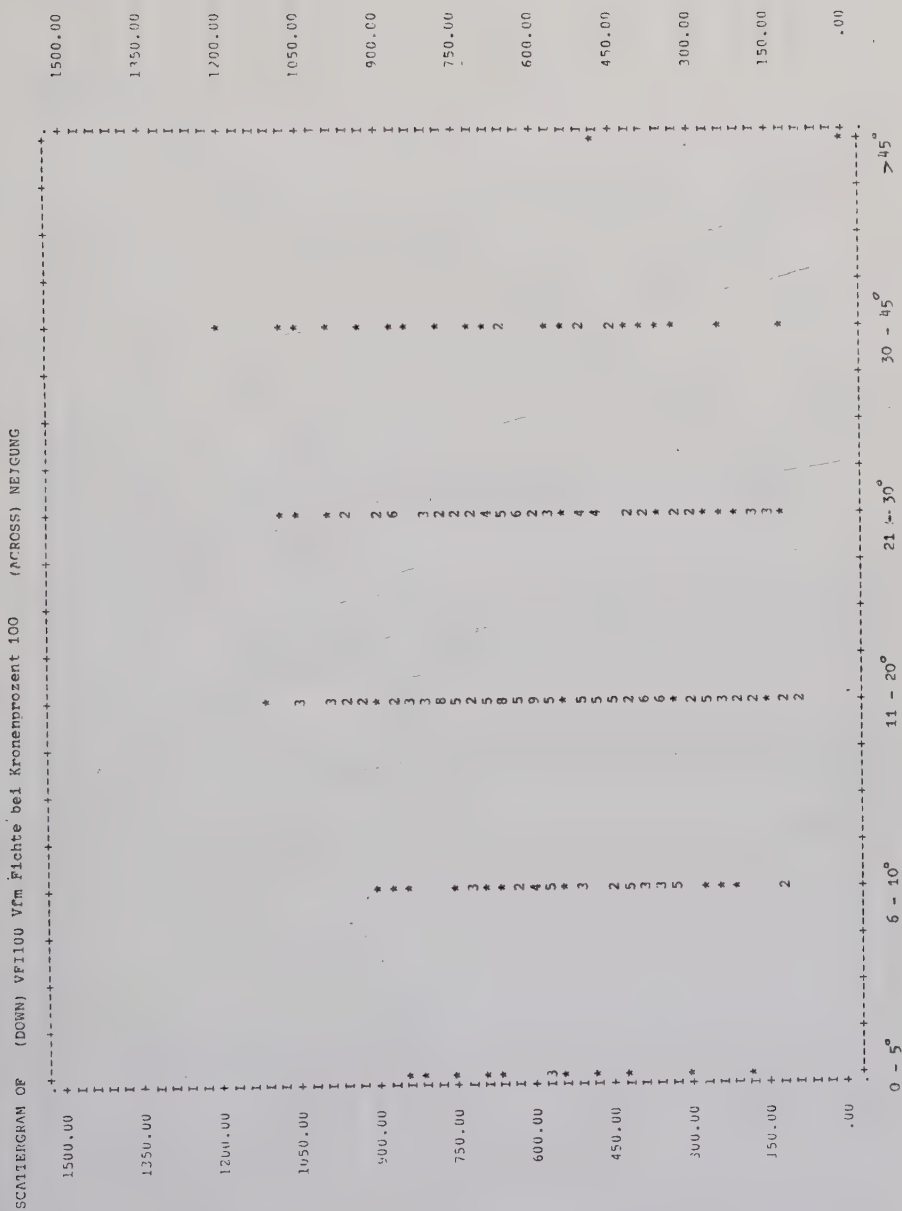


Abbildung A13: Scattergram zwischen Vfm Fichte (bezogen auf Kronenprozent 100) und Exposition

Korrelation $r = -0.074$

FILE INVENT (CREATION DATE = 01/14/00)
SCATTERGRAM OF (DOWN) Lzflluo 12 Fichte bei Kronenprozent: 100 (ACROSS) EXPOSITION

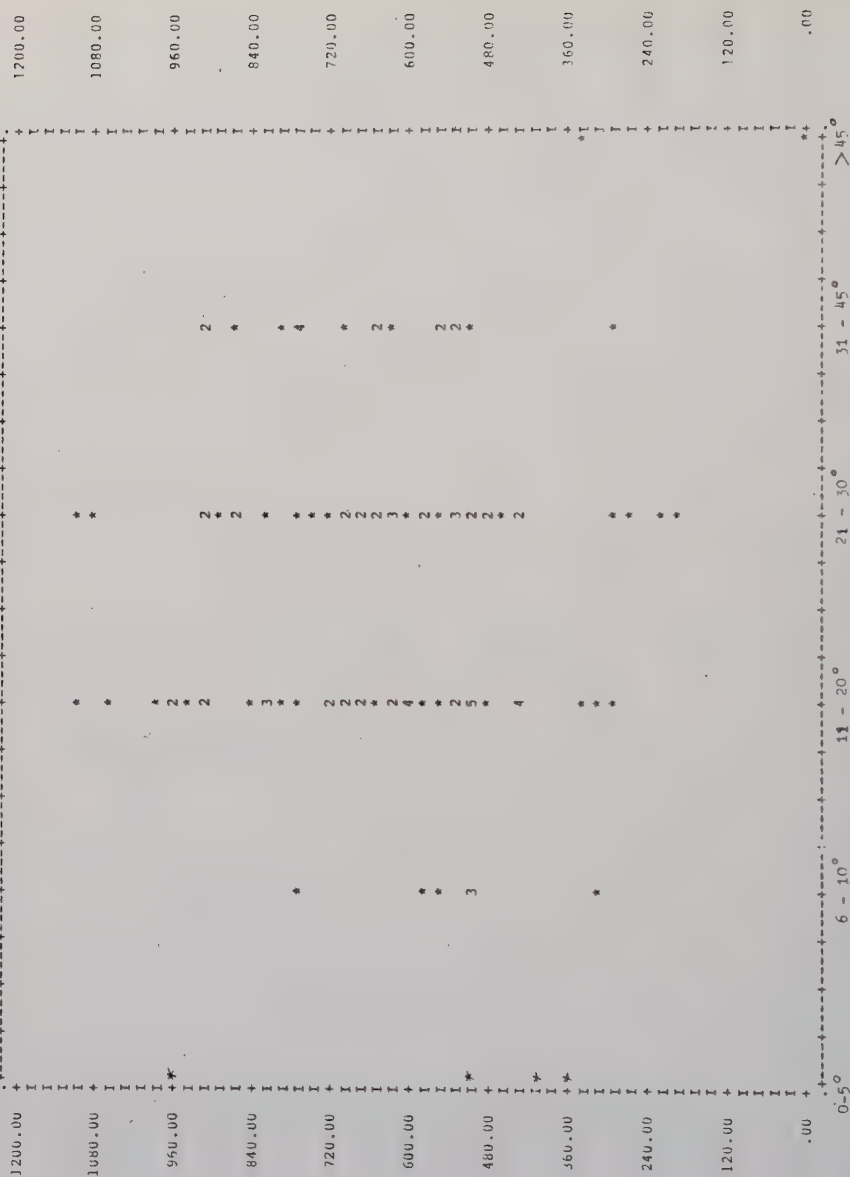




Korrelation $r = -0,136$

Abbildung A15: Scattergram zwischen Vfm Fichte (bezogen auf Kronenprozent 100) und Hangneigung

SCATTERGRAM OF (DOWN) VTA100 Vfm Tanne bei Kronenprozent 100 (ACROSS) NEIGUNG



Korrelation r = 0,181

Abbildung A16: Scattergram zwischen Vfm Tanne (bezogen auf Kronenprozent 100) und Hangneigung

LEBENS LAUF

Am 8. Februar 1952 wurde ich als Sohn der Eheleute Günter und Ingeborg Schade in Altenburg/Thüringen geboren.

1955 übersiedelten wir in die Bundesrepublik. Von 1959 bis 1963 besuchte ich die Grundschule in Besigheim/Württemberg, von 1963 bis 1971 das Gymnasium in Besigheim und später in Bietigheim, wo ich 1971 das Abitur ablegte.

Von 1971 bis 1972 leistete ich meinen Militärdienst bei den Gebirgsjägern in Kempten/Allgäu ab.

Im Wintersemester 1972/73 begann ich das Studium der Forstwirtschaft an der Universität Freiburg, wo ich im Frühjahr 1977 das Diplom ablegte.

Von Mai 1977 bis März 1980 arbeitete ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr. G. Hildebrandt an der Abteilung Luftbildmessung und Interpretation des Institutes für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaftslehre an der Universität Freiburg.

1978 und 1979 war ich zwischenzeitlich mehrere Monate bei Aufforstungsprojekten und Waldinventuren in Westafrika und am Amazonas tätig.

Seit April 1980 habe ich eine Stelle bei der FAO in Rom angenommen als associated expert für Fernerkundung.

